

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Juha Tilli

LASERPAPERIN PAINETTAVUUDEN PARANTAMINEN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Vehkalahdella 12.4.1995.

Työn valvoja: Professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Mikael Strömberg

Tekijä, työn nimi

Juha Tilli

Laserpaperin painettavuuden parantaminen

Päivämäärä: **12.4.1995**

Sivumäärä: **87**

Osasto, laitos, professuuri

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto, Puunjalostustekniikan laitos, Puu-21

Paperitekniikka

Työn valvoja:

Työn ohjaaja:

Professori Hannu Paulapuro

DI Mikael Strömberg

Jatkolomakepaperimarkkinoiden muuttuessa ja tulostusteknologian kehittyessä jatkolomakepapereille asetettavat tekniset vaatimukset kasvavat. Uudet vaatimukset aiheuttavat helposti ongelmia varsinkin laseroitaville puupitoisille papereille.

Työn tavoite oli pyrkiä vähentämään puupitoisten esipainettujen lomakkeiden tarttumisriskiä paperin tilasuuremuutosten avulla. Huokoisuudella, huokoskokoolla ja karheudella uskottiin olevan suurin syy tarttumiseen. Myös pintaenergioilla, uuteainepitoisuudella, sähköstaattisuudella ja kosteudella uskottiin olevan merkitystä. Tavoite oli myös suunnitella ja toteuttaa muutokset erään tehtaan tuotannossa uuden tuotantotavan muodossa. Muutokset tehtiin huomioiden lasertulostuksen asettamat vaatimukset ajettavuuden ja painettavuuden suhteen.

Paperikoneella ajettiin Taguchi-menetelmään pohjautuva koesarja, jonka avulla haettiin tarttumiseen vaikuttaville tilasuureille hallintasuureita. Lopullinen uusi ajotapa oli siten painatustulosten selvittyä mahdollista optimoida käyttäen saatuja tuloksia hyväksi.

Koepisteet painettiin Prufbau-menetelmällä ja niistä mitattiin set-off ja rub-off. Koepisteet painettiin myös normaalin tuotannon yhteydessä Polytypos OY:n painossa Turussa. Enson Imatran tutkimuskeskuksessa koepisteistä mitattiin FTIR-menetelmää käyttäen värin absorptio paperiin sekä havainnoitiin pinojen tarttumista subjektiivisesti. Tarttumista jouduttiin ennustamaan set-off, rub-off ja FTIR-mittausten avulla, koska suoraa mittausmenetelmää värin kuivumiselle paperissa tai lomakkeiden tarttumiselle ei onnistuttu kehittämään.

Paperin huokoisuus, suuri huokoskoko ja hyvä formaatio parantavat värin absorptiota ja sen tasaisuutta. Paperin karheus vähentää kontaktipinta-alaa lomakkeiden välillä. Suuri huokoisuus ja karheustilavuus sekä korkea paperin pH parantavat värin kovettumisolosuhteita. Seurauksena on alhaisempi tarttumistodennäköisyys. Pintaenergioilla ja sähköstaattisuudella ei todettu olevan vaikutusta tarttumiseen. Korkea uuteainepitoisuus sensijaan lisää paperin happamuutta. Paperin tehdaskosteudella ei uskottu olevan suurta merkitystä, koska painettu paperi varastoidaan ilman kosteutta suojaavia kääreitä. Mainittujen tilasuureiden avulla tarttumisriskiä voidaan kuitenkin vain vähentää, ei täysin estää. Estäminen tapahtuu värin muuttamisella.

Lasertulostuksen vaatimuksia tarkasteltiin tehdyn kilpailijavertailun perusteella. Paperin tilasuuremuutosten odotettiin hieman huonontavan tooneradheesiota sekä tulostusterävyyttä. Painatusjäljen tummuuteen ja tasaisuuteen (toonerin siirto), ei tehdyillä muutoksilla uskottu kokonaisuudessaan olevan vaikutusta. Karheuden ja paksuuden nousulla uskottiin olevan positiivinen vaikutus lasertulostuksen ajettavuuteen.

Uusi ajotapa suunniteltiin Taguchi-tulosten avulla ja toteutettiin paperikoneella onnistuneesti. Asiakkaat ovat ottaneet muutoksen hyvin vastaan. Uusi ajotapa oli lisäksi taloudellisesti kannattava ratkaisu tehdastasolla.

Author and name of the thesis:

Juha Tilli

Improvement of laserpaper printability

Date: **12.4.1995**

Number of pages: **87**

Faculty, department and professorship:

Process and Material Sciences, Forest Products Technology, Puu-21 Paper Technology

Supervisor:

Professor Hannu Paulapuro

Instructor:

DI Mikael Strömberg

Changing markets and developments in printing technology are posing new technical demands on continuous forms. New demands are causing problems especially for wood containing laserpapers.

The aim of the work was to reduce the risk of printed forms sticking to each other after offset-printing. Furthermore, the object was to plan and implement the needed changes in a production of a paper mill. Alterations were made considering the printability and runnability requirements of laserprinting.

Experiments designed with the Taguchi-method were implemented in the production in order to find out the control variables for the paper properties affecting the forms sticking. Low porosity, small pore radius and smooth paper were believed to be the major reasons for sticking. Moreover, it was believed that surface energy, static electricity, paper moisture and resin content would have their own effect on sticking.

Paper samples were printed using the Prufbau-method and set-off and rub-off were measured. Reels were also printed in the printing house of Polytypos OY in Turku. FTIR-method was used to analyze the absorption of ink on the paper. The condition of printed stacks were also observed subjectively for several weeks. Probability for sticking was forecast using the data of set-off, rub-off and FTIR-measurements. In spite of efforts, a clear measurement method for sticking was not succeeded to develop.

High porosity, big pore radius and good formation improve ink absorption and its evenness. Roughness reduces the contact area between the printed forms. High porosity and roughness volume and high pH-value of paper improve the oxidation environment of ink. As a result probability for sticking is reduced. Surface energy and static electricity of paper have little effect on sticking. However, high resin content increases the acidity of paper. "Mill moisture" of paper was not considered to be important due to the fact that paper stacks were stored without any moisture proof wrappings. Changes in the presented paper properties can only reduce the risk of sticking. The actual prevention can be done by changing the ink properties.

The laserprinting demands were examined based on a technical competitor comparison. The new paper properties were expected to have slightly negative effects on toner adhesion and printing sharpness. Higher roughness and thickness were expected to have positive effects on runnability. The effects on toner transfer (printing density and its evenness) were expected to be none as total.

The new production method was planned according to the Taguchi-results and implemented successfully in the production. The customers have been satisfied with the changes made. In addition, the new production method was economically a sound solution at the mill level.

ALKULAUSE

Tämä diplomityö on tehty Enso Publication Papers OY Ltd:n toimeksiannosta Summan paperitehtaalla.

Haluan kiittää työni valvojaa professori Hannu Paulapuroa sekä työni ohjaajaa DI Mikael Strömbergiä asiantuntevasta opastuksesta työni eri vaiheissa.

Haluan esittää kiitokset myös tuotantopäällikkö Markus Lenetsille Polytypos OY:ssä ja kehitysinsinööri Tom Kankfeltille Coates Lorilleux OY:ssä mielenkiintoisesta yhteistyöstä ja korvaamattomasta avusta työni läpiviennissä.

Erityiset kiitokset haluan esittää FL Risto Laitiselle Imatran tutkimuskeskuksessa, joka antoi minulle korvaamatonta apua läpi koko työn.

Vilpittömät kiitokset myös kaikille niille Summan työntekijöille, jotka auttoivat minua työni eri vaiheissa.

Lämpimimmät kiitokseni annan vaimolleni LL Virpi Tillille, jonka poikkitieteellinen ja ymmärtävä asenne työtäni kohtaan oli suurenmoisen auttava.

Vehkalahdella 12.4.1995



Juha Tilli

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	2
2. JATKOLOMAKEPAPERIN TIE TEHTAALTA KÄYTTÄJÄLLE	3
2.1 Jatkojalostus	4
2.2 Lasertulostus	5
2.3 Tuoteanalyysi	8
3. PAINETTAVUUTEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN TEOREETTINEN TARKASTELU	12
3.1 Yleistä	12
3.2 Painovärit	13
3.1.1 Painovärien reologia	16
3.3 Kostutusvesi	16
3.4 Värin siirto paperiin ja paperin absorptiokyky	17
3.5 Värin asettuminen ja hapettuminen	24
3.6 Potentiaaliset tarttumisongelman aiheuttajat	26
3.6.1 Asettumisessa esiintyvät ongelmat	27
3.6.2 Hapettumisessa esiintyvät ongelmat	34
4. KOKEELLISEN OSAN TAVOITEASETTELU	38
5. HALLINTASUUREIDEN HAKU SUMMAN PK 2:LLA	41
5.1 Summan PK 2:n esittely	41
5.2 Käytetty koemenetelmä	44
5.3 Kokeiden suunnittelu	46
5.4 Kokeiden suoritus	48
5.5 Tulokset	49
5.5.1 Huokoisuus	50
5.5.2 Karheus	54
5.5.3 Formaatio	55
5.5.4 Uuteainepitoisuus, pintaenergiat ja sähköstaattisuus	56

5.6 Tulosten luotettavuuden arviointi	57
5.7 Prosessianalyysi tulosten perusteella	58
6. LABORATORIO- JA TEHDASMITTAKAAVAISET PAINATUKSET	60
6.1 Laboratoriopainatukset	60
6.1.1 Tulokset	60
6.1.2 Tulosten luotettavuuden arviointi	64
6.2 Tehdaspainatukset	65
6.2.1 Mittausmenetelmä	65
6.2.2 Tulokset	66
6.2.3 Tulosten luotettavuuden arviointi	68
6.2.4 Painettujen pinojen subjektiivinen havainnointi	68
6.3 Painatustulosten tarkastelu	69
6.3.1 Paperin happamuus ja uuteainepitoisuus	70
6.3.2 Pintaenergiat ja sähköstaattisuus	71
6.3.3 Värien ominaisuudet sekä painatus- ja varastointiolosuhteet	71
7. UUSI TUOTANTOTAPA	73
7.1 Lasertulostuksen rajoitteet	73
7.1.1 Tulokset	74
7.1.2 Tulosten luotettavuuden arviointi	77
7.2 Uuden tuotantotavan toteutus	77
7.2.1 Pölyävyyden tarkastelu	80
7.3 Taloudellinen tarkastelu	82
8. YHTEENVETO	84
8.1 Jatkoehdotukset	85

VIITELUETTELO

LIITELUETTELO

LIITTEET 9 KPL

1. JOHDANTO

Jatkolomakepaperi on tulostuskäyttöön valmistettavaa paperia, jota valmistetaan lähinnä puuvapaana täysin kemiallisesta massasta. Useat tuottajat tarjoavat markkinoille kuitenkin myös puu- ja kierrätyskuitupitoisia papereita, joskin niiden osuus kokonaismarkkinoista on suhteellisen pieni. Tehtaalta paperi lähtee rullina jatkojalostettavaksi lomaketaloihin, joissa siihen tehdään perforointi ("repimisreitys") sekä paperin tulostusvetoa varten reunareiät. Paperiin painetaan usein myös offset-painatuksena erilaisia asiakkaan haluamia pohjakuvioita. Jatkolomakepaperia käytetään jatkuvatoimisissa tulostimissa, esim. pankeissa, virastoissa ja vakuutuslaitoksissa, joissa tulostettavat määrät ovat usein suuria. Tulostimet ovat joko laser- eli ns. non-impact -tulostimia tai mekaanisia tulostimia. Jatkolomakepaperin lisääntyvänä käyttöalueena ovat myös erilaiset personoidut esitteet ja julkaisut, jotka painetaan non-impact menetelmällä.

Jatkolomakepaperin markkinat ovat olleet voimakkaassa muutostilassa jo useamman vuoden ajan /1,2,3,4,5/. Tämä on ollut seurausta pääasiassa seuraavista syistä: tulostusteknologian kehittyminen, ympäristötietoisuuden luomat markkinamahdollisuudet sekä voimakkaat muutokset raaka-aineiden (sellun) hinnoissa.

Suurimman osan jatkolomakemarkkinoista ovat vieneet puuvapaat paperit (1987 noin 90%). Tämä osuus onkin säilynyt vuosien kuluessa lähes ennallaan. Aiemmin loput 10% markkinoista kuuluivat puupitoisille papereille. Näiden papereiden kohderyhmänä olivat lähinnä mekaanisia printtereitä käyttävät asiakkaat. Muutospaineet ovatkin kohdistuneet pääasiassa tähän osaan markkinoista ja seuraukset ovat ilmenneet seuraavanlaisesti /6/:

- laserprinttereiden kasvava osuus on nostanut laservaatimukset täyttävien papereiden suhteellista osuutta markkinoista (puupitoisilla papereilla on ollut vaikeuksia täyttää nämä vaatimukset)

- ympäristötietoisuuden lisääntyminen on kasvattanut kierrätyskuitua sisältävien papereiden osuutta markkinoista (suurelta osin puupitoisten kustannuksella)
- sellun hinnanmuutokset ovat vaikuttaneet voimakkaasti kilpailutilanteeseen puupitoiset vs. puuvapaat

Markkinoiden kehitystä analysoitaessa puupitoisen jatkolomakepaperin valmistajan pitäisikin pystyä takaamaan paperilleen laserkelpoisuus sekä ainakin joiltakin osin osoittaa tuotteen ympäristöystävällisyyttä (kierrätyskuitu ja kloorivapaus). Puupitoinen jatkolomakepaperi on kuitenkin aina laadultaan heikompaa kuin puuvapaa, minkä vuoksi puupitoisen toimittaja onkin voimakkaasti riippuvainen sellun hinnan muutoksista.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

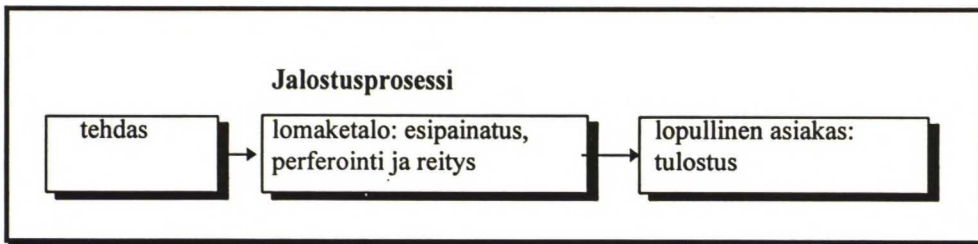
Enso Publication Papers OY:n Summan tehdas on yksi markkinoilla oleva puupitoisen jatkolomakepaperin valmistaja (tuotemerkki *Summa Tab*). Ympäristövaatimukseen tehdas on jo osittain vastannut täysin kloorivapaan sellun sekä kierrätysmassan käytöllä. Paperi ei ole kuitenkaan vielä laserkelpoinen vaan ongelmia on esiintynyt.

Summan tehdas valmistaa puupitoista jatkolomakepaperia vuonna 1993 uusitulla paperikone kahdella (PK 2). Lajin tuotannossa on ollut moninaisia ongelmia kuten: kaatuvat pinot, raaka-aine komponenttien haihtuminen laseroitaessa, pölyäminen, toonerin irtoavuus, painovärin tarttuminen kuumennusteloille, sähköisyyden aiheuttamat ongelmat sekä ehkä vakavimpana esipainatuksen jälkeinen lomakkeiden tarttuminen. Osittain ongelmat ovat olleet tyypillisiä laserpapereiden ongelmia, joita on vaikea hallita jopa täysin kemiallisesta massasta valmistetuilla papereilla. Mekaanisen massan käyttö vielä lisää ongelmia ja vaikeuttaa niiden hallintaa.

Tämä työ keskittyy esiintyneistä ongelmista tällä hetkellä vakavimpaan eli esipainettujen lomakkeiden tarttumiseen. Tavoitteena on hakea Summa Tabille uusi ajotapa Summan paperikone kahdella siten, että lomakkeiden tarttumisen todennäköisyys olisi minimoitu tai mahdollisuuksien mukaan jopa estetty. Painettavuuden parantamisella tarkoitetaan siis tässä työssä lomakkeiden esipainatusominaisuuksien parantamista. Uusi ajotapa haetaan kuitenkin ottaen huomioon myös laseroinnin vaatimukset paperilta. Painatusolosuhteiden ja värin ominaisuuksien hallinta on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

2. JATKOLOMAKEPAPERIN TIE TEHTAALTA KÄYTTÄJÄLLE

Useista muista paperilajeista poiketen jatkolomakkeen tie tehtaalta lopulliselle asiakkaalle sisältää enemmän vaativia prosesseja (*kuva 1*).



Kuva 1. Tehtaalta lähdön jälkeen paperia jalostetaan lisää ennen lopulliselle asiakkaalle menoa.

Tehtaalla konerulla leikataan sopivan kokoisiin rulliin, jotka lähetetään esipainettavaksi, perferoitavaksi ja reitettäväksi tehtaan omalle asiakkaalle (lomakepaino). Lomaketaloissa rullat voidaan ajaa joko laatikkolistoiksi tai takaisin rullalle loppuasiakkaan tarpeiden mukaisesti. Esipainetut, perferoidut ja reitetyt jatkolomakkeet ovat tämän jälkeen valmiita lähetettäväksi lopulliselle asiakkaalle tulostuskäyttöä varten.

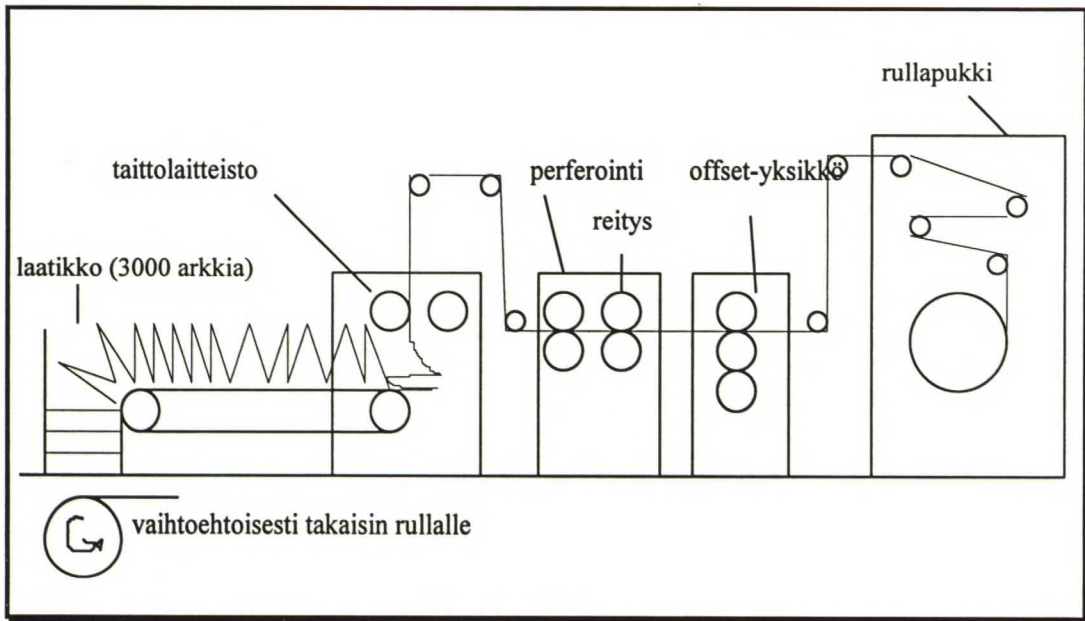
Jatkolomakepaperin valmistusprosessin osat, valmistus tehtaalla sekä jatkojalostus asettavat omat vaatimuksensa valmistettavalle paperille. Tämän varsinaisen valmistusprosessin jälkeen jatkolomakkeen ominaisuudet joutuvat vielä lopulliselle koetukselle loppuasiakkaan luona lasertulostuksessa. Paperin laatuominaisuudet tulisikin optimoida paperikoneella ensinnäkin siten, että jatkojalostuksessa tarvittavat paperin ominaisuuksien kriteerit tulisi täytettyä. Tämän lisäksi paperin tulisi vielä jalostusprosessin jälkeen täyttää ne ajettavuus- ja painettavuus vaatimukset, joita lasertulostus paperille asettaa. Lasertulostuksen jälkeen voi olla vielä automaattinen arkkien leikkaus ja postituslinja. Jos paperin rakenne optimoidaan vain jalostusprosessissa tapahtuvaa painatusta varten, ei se välttämättä enään toimi hyvin jäljellä olevissa prosessin osissa. Esimerkiksi korkeahko huokoisuus voi olla edullista painatuksessa, mutta voi häiritä toonerin tarttumista laseroinnissa. Tämän vuoksi jatkolomakepaperin valmistus- ja käyttöprosessit sekä niiden vaatimukset on tunnettava hyvin, jotta jatkolomakkeen esipainettavuuden parantaminen on mahdollista koko prosessi huomioonottaen.

Laatuominaisuuksien optimointia paperikoneella vaikeuttaa se, etteivät normaalit paperiteknisten ominaisuuksien mittaukset välttämättä kerro paperin soveltuvuudesta laserointiin varsinkaan, kun paperin ominaisuudet vielä muuttuvat jalostusprosessin aikana. Paperin valmistajan pitää kuitenkin pystyä "takaamaan", että tehtaalta lähdettyään paperi toimii ongelmattomasti niin jatkojalostuksessa kuin loppuasiakkaan luona lasertulostuksessakin. Tämä saattaa olla hyvinkin vaikeaa ja siksi tehtaalla on usein tärkeää olla läheisessä yhteistyössä omien asiakkaidensa eli lomaketalojen kanssa, jotta lopullinen asiakas saadaan pidettyä tyytyväisenä.

2.1 Jatkojalostus

Tehtaalta paperirullat lähetetään lomaketaloihin, joissa paperi painetaan offset-painatuksena, reitetään sekä perforoidaan samassa prosessissa (*kuva 2*). Paperi ajetaan ensin offsetyksikön läpi, minkä jälkeen se reitetään ja perforoidaan sekä lopulta halkaisun ja taiton jälkeen ajetaan takaisin rullalle tai laatikkoon listoiksi.

Offsetpainatus ei jatkolomakepaperin painatuksessa ole yhtä vaativa kuin normaalissa offsetissä, minkä vuoksi yksikössä on vähemmän teloja. Käytetään vain yhtä erikoisväriä. Prosessissa ajetaan usein 2-3 lomakerataa rinnan, jolloin radan halkaisu tapahtuu ennen taittoa. Koneiden nopudet liikkuvat alueella 200-450 m/min riippuen koneesta, ajettavasta paperista, ajotavasta (rulla-rulla tai rulla-laatikko)./7,8/

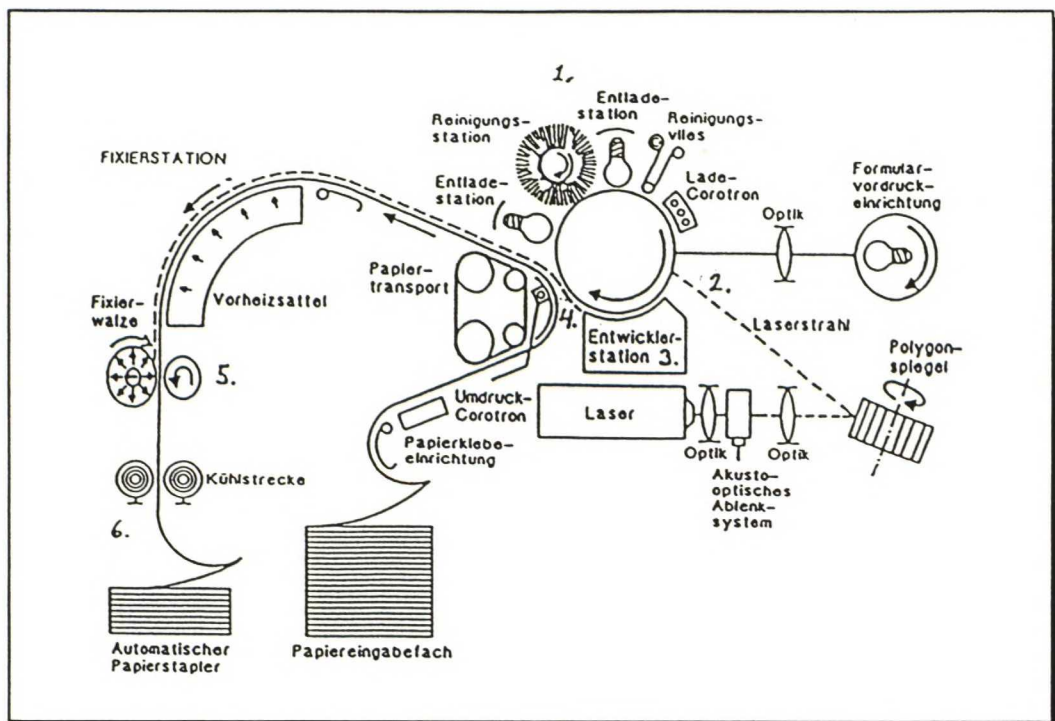


Kuva 2. Esimerkki lomaketelossa tapahtuvasta jalostusprosessista. Kireys rullapukilla on noin 180 N/m ja nopeus noin 380 m/min. Laatikkoitaessa arkkeja tulee noin 3000 aina yhteen laatikkoon./8/

2.2 Lasertulostus

Lasertulostus on *elektrofotograafinen painomenetelmä*, jossa valoa johtavalle rummulle muodostetaan laservalon avulla kuva. Muodostetun kuvan alueelle saadaan sähköisten voimien avulla kiinnitettyä painoväriä, tooneria, joka edelleen sähköisten voimien avulla siirretään paperin pinnalle. Tooneri kiinnitetään vielä tiukemmin paperiin kiinni erityisellä kiinnitysasemalla, jolloin sen pysyvyys on parempi. /10/

Kuva 3 esittää Siemensin ND 2 lasertulostimen rakenteen.



Kuva 3. Siemensin ND 2 lasertulostimen rakenne /10/. Kuvan numerot viittaavat tekstin selityksiin.

Valoa johtavan rummun puhdistus ja varaus (1). Kun tooneri on siirretty rummulta paperille kohdassa 4, seuraa rummun puhdistaminen vielä rummun pinnalle jääneistä tooner-partikkeleista. Ensin rumpu esipuhdistetaan, minkä jälkeen sen varaus poistetaan, puhdistetaan vielä uudelleen sekä ladataan lopulta uuden kuvan muodostamista varten.

Kuvan muodostus (2). Puhdistuksen ja uudelleen varauksen jälkeen rummulle voidaan muodostaa uusi kuva, joka saadaan aikaan lasersäteen avulla. Muodostunut kuva-alue on negatiivisesti varautunut.

Kehitys (3). Kuvanmuodostuksen jälkeisellä kehitysasemalla positiivisesti varautuneet toonerpartikkelit kiinnitetään negatiivisesti varautuneisiin kuva-alueisiin. Tooneri on termoplastista muovivainesta, joka on sekoitettuna ferromagneettiseen aineeseen eli kantajaan (2-komponenttitooneri). Vaihtoehtoisesti tooneri voi olla käsitelty pinnaltaan ferromagneettisella aineella, jolloin kantajaa ei tarvita (1-komponenttitooneri).

Toonerin siirto paperille (4). Siirtoasemalla paperirata kulkee hyvin läheltä rumpua (ei kosketusta). Paperin takana on suurjännitekorona, jonka avulla paperi saadaan negatiivisesti varatuksi. Positiivisesti varautunut tooneri tarttuu negatiivisesti varautuneeseen paperiin, jolloin kuvan siirto tapahtuu. Tooneri on kuitenkin vielä vain "vapaasti" paperin pinnalla kiinni, joten se täytyy kiinnittää siihen tiukemmin erillisellä kiinnitysasemalla. Tulostuksen onnistumisen kannalta toonerin siirto on hyvin tärkeää ja ongelmia voi helposti esiintyä esimerkiksi huonojen profiilien tai epätarkkojen reunareitysten takia.

Toonerin kiinnitys paperiin (5). Tooneri ankkuroidaan paperiin tiukasti kiinni kiinnitysasemalla. Kiinnityksen kaksi yleisintä tekniikkaa ovat kuuma- tai kylmäkiinnitys, joita esim. Siemensin ja IBM:n uusimmat lasertulostimet käyttävät. Näistä kahdesta kuumakiinnitystä voidaan pitää eräänlaisena standardimenetelmänä. Kuumakiinnityksessä paperi esilämmitetään ennen kiinnitysasemaa, jotta riittävä kiinnityslämpötila saadaan aikaan. Kuumennuksessa paperi kulkee kahden kuuman telan välitse, jolloin lämpötilan on oltava riittävän korkea sulattamaan tooneri ja levittämään se paperin pinnalle. Tooneri sulaa nipissä ja penetroituu paperiin muodostaen kestävästä filmin paperin pinnalle.

Kylmäkiinnityksessä tooneri kiinnitetään paperiin liuotiaineiden avulla, jotka muodostavat kiinnitysyksikössä liuotinhöyryjä. Tarpeeksi korkea höyryjen konsentraatio ilmassa plastisoi toonerin, jolloin se kiinnittyy paperin pintaan ja muodostaa siihen filmin. Kiinnityksen onnistumiseksi liuotiaineiden sekä toonerin valinta on tärkeää. Myös liuotiaineiden muodostama kosteupitoisuus sekä paperin viipymä yksikössä ovat tärkeitä. Ympäristösyistä kylmälaserit ovat vähenemässä.

Paperin jäähdytys ja pinoaminen (6). Kiinnitysaseman jälkeen paperi jäähdytetään (kuumalaser) ja pinotaan.

Lasertulostus on hyvin vaativa prosessi paperille, minkä vuoksi ongelmia usein esiintyy. Lasertulostinten valmistajat ovat kokemuksen kautta ryhtyneet antamaan omia spesifikaatioitaan laseroitavalle paperille /12,13/. Annetut ohjeet ovat sekä toiminnallisia että rakenteellisia ominaisuuksia kuvaavia. Ongelmana on kuitenkin juuri useimpien paperin *rakennetta kuvaavien* mittausten riittämättömyys takaamaan paperin *toimivuus* laseroinnissa sekä toisaalta toiminnallisia ominaisuuksia selvittävien mittaustapojen puuttuminen.

2.3 Tuoteanalyysi

Puupitoista jatkolomakepaperia valmistetaan neliömassa-alueella 50-70 g/m². Neliömassaa määräävämpänä tekijänä asiakkaat pitävät usein paperin paksuutta sekä bulkkia, jonka pitää normaalisti olla alueella 1.55-1.8 m³/t. Massakoostumukset vaihtelevat täysin mekaanisesta massasta (TMP, PGW) valmistetuista papereista papereihin, joissa käytetään mekaanista massaa 80-90 % (sekoitus TMP:tä, GW:tä ja PGW:tä) ja loput kierrätyskuitua sekä sellua. Täyteaineita jatkolomakepaperi sisältää usein hyvin vähän.

Jatkolomakepaperin toiminnalliset ominaisuudet on jaettu neljään ryhmään /7-21/:

- ajettavuus ja painettavuus jatkojalostuksessa
- ajettavuus lasertulostimessa
- painettavuus lasertulostimessa
- loppukäyttäjän erikoisvaatimukset

1. AJETTAVUUS JA PAINETTAVUUS JATKOJALOSTUKSESSA

Paperin ajettavuuden on oltava hyvä katkojen minimoimiseksi esim. perferoinnissa sekä myös riittävän nopeuden saavuttamiseksi.

- *konesuuntainen vetolujuus ja poikkisuuntainen repäisyjujuus* kuvaavat hyvin tarvittavaa paperin lujuutta

Paperin pinta joutuu lujille painovärikerroksen haljetessa painonipissä.

- pinnan lujuutta kuvaa paperin *pintalujuus ja pölyävyys*

Painoväriin pitää asettua hyvin paperiin ja kuivaa ongelmitta.

- näitä ominaisuuksia voidaan mitata *set-offilla* ja esimerkiksi *FTIR-mittauksella*. Edullisia, paperista mitattavia tilasuureita ovat *korkea karheus, huokoisuus ja pH sekä alhainen kosteus ja rasvahappopitoisuus*.

Perferoinnissa ei saa irrota kuituja eivätkä reikien mittasuhteet saa jälkeensä muuttua.

- perferoinnin kestoa kuvaavat *vetolujuus* (sitoutuminen) ja *kokoonpuristuvuus*
- mittojen muuttumista kuvaa *kosteusmittapysyvyys*

Paperin pitää käyttäytyä hallitusti lomakkeiden alistuksessa ja laatikoimisessa.

- paperin *kitka ja sähköstaattisuus* kuvaavat paperin luistavuutta ja pintoihin tarttuvuutta
- *jäykkyys* kuvaa paperin ryhdikkyyttä

2. AJETTAVUUS LASERTULOSTIMESSA

Paperi ei saa aiheuttaa tukoksia tulostimessa eikä laskostuksessa.

- paperin pintoihin tarttumista kuvaavat *sähköstaattisuus, pintaresistiivisyys ja karheus*
- *jäykkyys* kuvaa paperin laskostumisen onnistumista
- paperin *dimensiostabiliteetti* kuvaa vetoreikien dimensioiden muuttumistaipumusta
- *kuituorientaatio* kuvaa paperin käyristymistäipumusta

Paperista ei saa irrota tai höyrystyä tulostinta likaavia tai muuten haitallisia komponentteja.

- *pintalujuus ja pölyäminen* kuvaavat paperin pinnan sitoutuneisuutta
- paperin *uuteainepitoisuudet* (DKM-uute, head-space kromatografinen määrittäminen) kuvaavat paperin ja esipainatusvärin höyrystyvien aineiden määrää
- *rub-off* kuvaa painopinnan lujuutta

Paperi ei saa olla liian kuluttavaa.

- paperin *kitka ja sileys* kuvaavat kuluttavuutta

Paperin komponenttien pitää kestää kuumennus.

- kuumakestävyyttä kuvaavat erilaiset paperin *kuumennustestit*, joissa mitataan paperin fysikaalisia (*dimensiostabiliteetti*) sekä kemiallisia muutoksia (*haihtuvat komponentit*)

3. PAINETTAVUUS LASERTULOSTIMESSA

Tulostusjäljen pitää olla tasainen ja riittävän tumma. Toonerinsiirto laserrummulta paperin pinnalle on onnistuttava hyvin ja tasaisesti.

- paperin *paksuus, tiheys, permittiivisyys ja pinta- sekä tilavuusresistiivisyys* kuvaavat toonerin siirtoherkkyttä. Näiden ominaisuuksien korkeat arvot parantavat paperin sähköistä varautumiskykyä ja siten toonerin siirto onnistuu paremmin. Pintaresistiivisyydellä (voimakkaasti riippuvainen kosteudesta) on kuitenkin olemassa optimiarvo, jonka jälkeen toneri voi tarttua ”valkoisille alueille.
- paperin suuri *karheus* on haitallista ja alhainen *formaatioluku* edullista
- paperin korkea *vaaleus* on edullista

Toonerin kiinnitys paperiin on oltava hyvä ja tulostusjäljen on oltava terävä.

- paperin *lämmönjohtokyky* oltava oikealla alueella (liian alhainen arvo aiheuttaa toonerin liian pinnallisen kiinnittymisen ja liian suuri puolestaan liiallisen penetroitumisen ja painojäljen terävyyden heikentymisen)
- *paksu paperi* voi heikentää paperin sisäkerrosten lämpenemistä, jolloin toneri tarttuu pinnallisesti
- *tiheä paperi* lämpenee paremmin, jolloin toneri penetroituu syvemmälle
- paperin *pintaenergia* on edullista olla korkea, jolloin toonerin adheesio paperiin paranee
- paperin oikea *huokosjakauma* on tärkeää sulaneen toonerin onnistuneen penetroitumisen kannalta
- suuri *huokoisuustilavuus* heikentää paperin lämpenemistä ja siten toonerin adheesio heikkenee
- paperin *formaatio* kuvaa toonerin penetroitumisen tasaisuutta
- *sileys* edistää toonerin sulamista, mutta voi aiheuttaa esipainetun lomakkeen värin tarttumista teloille
- suuri *mikrokarheus* heikentää painatusjäljen terävyyttä

4. LOPPUKÄYTTÄJÄN ERIKOISVAATIMUKSET

Paperin arkistointikelpoisuus oltava hyvä.

- paperin *kellastuminen* kuvaa arkistointikelpoisuutta

Paperin pitää olla ryhdikäs.

- ryhdikkyyttä kuvaa paperin *jäykkyys*

Pinon ulkonäön pitää olla hyvä (vinot tai käyrät pinot)

- ulkonäköä kuvaavat *kuituorientaatio, paperin toispuoleisuus ja formaation sekä kosteuden vaihtelut*

Jatkolomakkeen kohdalla ei esipainatusjäljelle aseteta samanlaisia vaatimuksia, kuin tavallisille painopapereille. Painettujen palkkien tarkoitus on ainoastaan toimia lukemista helpottavina taustakuvioina. Samoiten lasertulostuksessa tulostetaan useimmiten ainoastaan merkkejä, joten painettavuuden kannalta tärkeintä on merkkien kiinnipysyvyys ja osittain myös terävyys. Tummuusvaikutelmaan vaikuttaa puupitoisilla papereilla hyvin paljon paperin oma alhainen vaaleus. Arkkilaserpapereihin painetaan kuvia, joten vaatimukset painettavuuden suhteen ovat suuremmat.

Esipainatuksessa puupitoisen paperin erityisongelmia ovat heikommat lujuudet ja pölyäminen sekä huono painoväriin kuivuminen. Pölyävyys ja huono pintalujuus aiheuttaa ongelmia perferoinnissa (irtokuituja, pölyä) sekä painatuksessa (pölyn kertyminen painoteloille) /7,8,9/. Laseroinnissa puupitoisen paperin erityisongelmia ovat pölyäminen, toonerin huono pysyvyys tulostuksen jälkeen eli "poisrapsutettavuus" ja erilaiset haihtuvat höyryt. Pintaliimaamattomat puupitoiset paperit kellastuvat myös helposti ja ovat huonosti mustekynällä kirjoitettavia. Kaikki nämä ongelmat liittyvät käytettyyn massamixiin ja tekevät siten niiden hallinnan vaikeaksi, osittain mahdottomaksi /9,15,20/. Osan ominaisuuksien kohdalla puupitoisille asetetut vaatimukset eri markkinoilla selvästikin vaihtelevat, esimerkiksi loppukäyttäjän erikoisvaatimusten kohdalla.

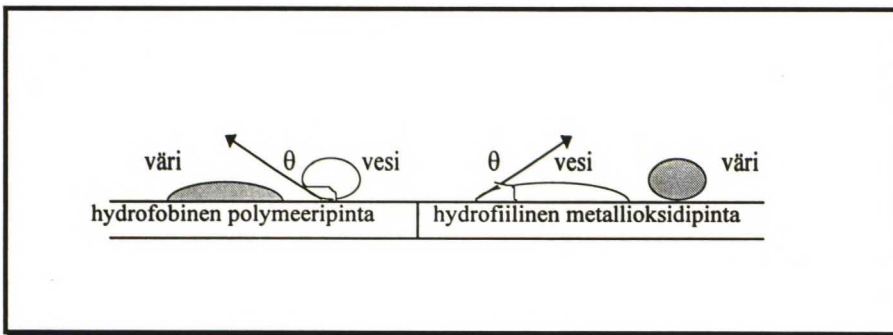
Kyseisten paperista mitattavien ominaisuuksien mittaamiseen on olemassa hyvin paljon erilaisia mittalaitteistoja, joista osa on hyvin yleisiä, jokaisessa tehtaassa olevia laitteita ja osa taas kehittyneempiä, usein vain alan tutkimuslaitoksessa olevia /15/.

3. PAINETTAVUUTEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN TEOREETTINEN TARKASTELU

3.1 Yleistä

Käytettävä painomenetelmä jatkolomakepaperin jalostuksessa on offset-menetelmä. Painoväriin kuivumista ei edistetä minkäänlaisilla kuivatuslaitteilla. Värien kuivuminen tapahtuu *asettumalla (absorptio) ja hapettumalla*. Käytettävät menetelmät jakautuvat edelleen kuiva- ja märkäoffset-menetelmiin, tarkoittaen tapaa, jolla painettavien pintojen selektivisointi tehdään.

Märkäoffset tarkoittaa menetelmää, jossa painolevy on jaettu oleofiilisiin vettä hylkiviin alueisiin sekä hydrofiilisiin vettä puoleensavetäviin alueisiin (*kuva 4*).



Kuva 4. Veden ja värin kontaktikulmat (θ) offsetlevyn pinnalla /22/.

Oleofiiliset alueet ovat painettavia alueita, joille tulee tekstiä tai kuvia ja hydrofiiliset taas "valkoisia" alueita. Painolevyllä annostellaan kostutusvettä, joka tarttuu pääasiassa hydrofiilisille alueille estäen painoväriin tarttumisen näille kohdille. Painolevyttä kuva siirretään painavalle kumisyylinterille ja edelleen nipissä paperille. Samalla kostutusvettä imeytyy paperiin. Osa kostutusvedestä on myös emulgoituneena painoväriin.

Kuivaoffsetissa ei käytetä kostutusvettä ollenkaan vaan pintojen selektivisointi tehdään pintamateriaalien avulla, esim. silikoniperustaisilla levyillä. Korkeaviskoottisella silikonilla peitetyt kohdat hylkivät painoväriä, jolloin kostutusvettä ei tarvita laisinkaan. Menetelmän ongelmaksi voivat muodostua silikonin pintajännitysominaisuuksien muuttuminen painatuksen aikana. Menetelmä on herkkä myös värin rakenteelle ja lämpötilalle. Puupitoisilla papereilla kuivaoffset menetelmä on kuitenkin pintalujuuksien takia edullisempi; pystytään ajamaan pidempään kuin märkäoffsetissa ilman painotelan pesua. Muuten painatuksen peruserä on hyvin samanlainen märkäoffsetin kanssa./23,24,25/

Jatkolomakepaperin painatuksessa paperi menee vain yhden painoyksikön läpi, jolloin painatus on tapahtumana yksinkertaisempi kuin moniväriooffsetissa. Käytetyt värit ovat erikoisvärejä, eikä teloja tarvita yhtä paljon kuin moniväripainatuksessa. Värintsiirto tapahtuu myös ainoastaan kuivalle paperin pinnalle. Yksinkertaisemmasta luonteesta johtuen jatkolomakepaperin itse painatustapahtumassa esiintyykin harvoin muita kuin pölyämisen aiheuttamia ongelmia /7,8/. Jatkolomakepaperin jalostajat pystyvät melko hyvin hallitsemaan itse painatuksen (valitukset usein vain pölyämisestä). Hankalammat ongelmat esiintyvät usein painatuksen jälkeen värin kuivuessa, vaikka nekin ovat melko harvinaisia.

3.2 Painovärit

Jatkolomakevärit sisältävät väripigmentin, sideaineita, liuottimia sekä muita lisäaineita. Pigmentit ovat liukenemattomia partikkeleita, jotka ovat dipergoituneina väliaineeseen. Väliaineella tarkoitetaan liuottimien ja sideaineiden muodostamaa kokonaisuutta. Liuotin toimii kantajana, joka imeytyy paperiin

jättäen pigmentit ja sideaineet paperin pintakerrokseen. Myöhemmin liuotin joko haihtuu pois tai sitten se jää paperiin. Pinnalle jääneet sideaineet sitovat pigmenttipartikkelit paperiin ja muodostavat niille suojaavan kalvon. /22,26,27/

Jatkolomakevärit pohjautuvat arkkioffsetväreihin /28/. Laser vs. mekaaninen tulostus aiheuttavat niiden koostumuksiin kuitenkin eroja. Suurin ero on liuottimen käyttö. Mekaaniseen tulostukseen valmistetuissa papereissa käytetään liuottimena mineraaliöljyjä, jotka eivät kuivu laisinkaan. Laserväreissä ei mineraaliöljyjä käytetä vaan ne on usein korvattu hapetuvilla ja kovettuvilla kasvisöljyillä, jolloin varmistetaan värin tarttumattomuus lasertulostimen teloille /29/.

Märkä- ja kuivaoffsetvärit ovat koostumukseltaan hyvin samanlaisia. Eroja on lähinnä hartsin ja lisäaineiden kohdalla.

Pigmenttipartikkelit ovat väriä antavaa orgaanista ainesta. Partikkelit ovat kooltaan välillä 25-1000nm /22/. Partikkeliä koko suhteessa paperin huokoskokoon vaikuttaa kuinka syväälle ne penetroituvat paperiin. Värin teho heikentyy jos pigmenttipartikkelit penetroituvat liian syväälle, mutta toisaalta jos ne jäävät liian pinnalle voivat hankaavat pinnat (esim. laserrumpu) irroittaa ne. Pigmenttien tärkeimpiä vaatimuksia ovat korkea värivoima (värin määrä voidaan pitää pienenä), kiilto sekä hyvät kestävyysominaisuudet (vesi, valo, hankaus). Jatkolomakevärien pigmentit eivät saa olla lasertulostimen pintoja kuluttavia.

Sideaineena väreissä käytetään kasvisöljyjä, jolloin värin lopullinen kuivuminen perustuu niiden kaksoissidosten reaktiivisuuteen eli tapahtuu polymeroitumista hapen ja katalyyttien vaikutuksesta. Hapettuminen on kuitenkin hidasta, minkä vuoksi sideaineina käytetään myös hartseja, jotka nopeuttavat värin asettumista eli ne antavat nopeammin kosketuskuivan pinnan. Varsinainen värin kuivuminen on kuitenkin riippuvainen kasvisöljyn hapettumisreaktion onnistumisesta. Kasvisöljyt saadaan kasvien siemenistä joko uuttamalla tai puristamalla, esim. pellavaöljy.

Hartsit ovat kiinteää ainesta, jota saadaan puuöljyn reaktiotuotteista (esteröinti, polymerointi). Laserväreissä on tärkeää kasvisöljyn hapettuminen läpi koko kerroksen, jolloin ne kestävät laseroinnin kuumennustelat. /22,27,29/

Liuottimena käytetään mineraaliöljyjä, jotka ovat parafiinisten, nafteenisten ja aromaattisten hiilivetyjen seoksia. On tärkeää, että öljyt ovat ohuita nopeaa paperiin imeytymistä varten. Asettumisen kannalta liuottimen nopea eroaminen sideaine faasista on edullista. Laserpainatukseen menevillä jatkolomakepapereilla mineraaliöljyjen käyttöä pyritään välttämään. /22,27,29/

Lisäaineita käytetään offsetväreissä painopinnan kulutuskestävyyden parantamiseksi (vahat), värin sävyttämiseksi, kuivumisen edistämiseksi (kuivikkeet) sekä myös joskus kuivumisen estämiseksi (antioksidantit siistauksen helpottamiseksi). Lisäksi käytetään joskus täyteaineita. Jatkolomakeväreissä käytetyt lisäaineet ovat lähinnä kuivikkeet ja sävyttimet. Antioksidantteja ei käytetä, koska ne voivat häiritä kuivumista. Vahoja ei puolestaan voida käyttää laseroitaville papereille.

Tärkein lisäaine hapettuen kuivuville väreille on kuivike eli initiaattori, joka toimii polymeroitumisreaktion katalysaattorina. Kuivikkeet ovat useimmiten epäorgaanisia suoloja tai orgaanisten happojen metallisaippuina. Jatkolomakeväreissä kuivikkeet ovat useimmiten öljyyn liotettuja metallisuoloja, oktoaatteja, resinaatteja, naftenaatteja ja linoleja. Metalli on useimmiten koboltti tai magnesium. Varsinkin koboltti on hyvä hapetin, mutta se on myös herkkä liukenemaan liian happameen kostutusveteen. Käytetyt kuivikkeen määrät vaihtelevat välillä 0,5-4 % riippuen väristä sekä paperista. Ylimäärä kuiviketta ei auta reaktiota vaan voi jopa hidastaa hapettumista. Käyttöön on tullut myös pastamuodossa olevia kuivikkeita, jotka sisältävät esim. epäorgaanisia peroksiedeja. Hapan kostutusvesi saa peroksidin luovuttamaan happea polymerisaatiota varten. /22,26,27/

3.1.1 Painovärien reologia

Märkäoffsetvärien viskoottisuus on hyvin korkea ja myös niiden tahmeus on hyvin suuri /26,27,30/. Viskositeetin arvo on usein välillä 10-40 Pas ja saattaa olla jopa kymmenkertainen esim. kohopainoväriin verrattuna. Värit ovat ei-newtonilaisia eli ne ovat pseudoplastisia, tiksotrooppisia sekä viskoelastisia /27/. Korkea viskoottisuus johtuu pigmenttikoosta sekä suurimolekyylisistä sideaineista. Pigmenttien koolla sekä niiden flokkaantumistaipumuksella on merkitystä värin tunkeutumiseen paperiin. Tahmeutensa takia värin halkeaminen nipin jälkeen pystytään hallitsemaan hyvin, mutta toisaalta paperin pinta joutuu hyvin lujille halkeamistapahtumassa. Värien reologiaa muuttaa väriin painatuksessa emulgoitunut vesi. Usein värien viskositeetti ja valumisraja nousevat, ne muuttuvat plastistyyppisiksi /27/.

Kuivaoffsetvärit ovat reologisilta ominaisuuksiltaan nykyisin lähellä märkäoffsetvärejä. Suurin ero on viskositeetti, mikä kuivaoffsetväreillä on korkea, noin 75 Pas /31/. Värien tahmeus on hieman alhaisempi /23/.

3.3 Kostutusvesi

Kostutusveden päätehtävä märkäoffsetissa on säilyttää selektiviteetti painavien ja ei-painavien pintojen välillä. Tämän lisäksi kostutusvedellä on useita muita tehtäviä, jotka liittyvät paino-olosuhteiden vakioimiseen. Kostutusvesi sisältää erilaisia lisäaineita suuren määrän, joiden tavoitteena on (lisäaineet suluissa) /26,32/:

- Säättää kostutusveden pH-tasapainoa (fosforihappo, fosfaatit, ammoniumkarbonaatti, NaOH). Säättämällä pH halutulle alueelle koko painatuksen ajaksi vaikutetaan levyn säilyvyyteen sekä muiden lisäaineiden toimivuuteen.
- Parantaa painolevyn vesiherkkyyttä, jolloin painoalueiden selektivisointi onnistuu paremmin, eikä painoväri tartu "valkoisille alueille" (arabiakumi).

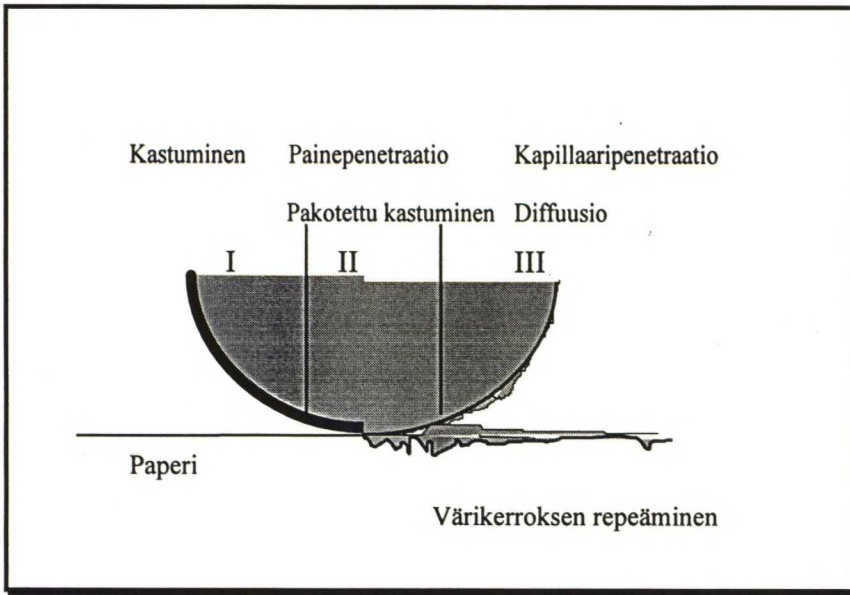
- Parantaa painolevyn säilyvyyttä mm. bakteereita vastaan (biosidit, propanoli).
- Säättää pintajännitystä, jolloin kostutusveden tarve on pienempi (isopropanoli).
- Estää korroosiota (magnesiumnitraatti).
- Toimia veden pehmentimenä (Ca- ja Mg-suolojen kanssa kompleksin muodostavia aineita).

Kostutusvesi otetaan painoissa usein suoraan kunnallisista verkoista, jolloin veden kemialliset ominaisuudet voivat vaihdella. Esimerkiksi veden pH ja kovuus saattavat vaihdella huomattavasti /32/. Vaikutuksia pystytään kuitenkin eliminoimaan käytetyillä lisäaineilla. Kostutusveden puskurointi auttaa ehkäisemään pH:n vaihteluista syntyvät ongelmat ja veden kovuutta voidaan säätää pehmentimillä.

Kostutusvettä emulgoituu painatuksessa myös jossain määrin painoväriin. Pieni määrä emulgoitunutta vettä ei ole haitaksi, mutta suurempi väriin siirtynyt vesimäärä voi aiheuttaa jo vaikeampia ongelmia. Väriin siirto heikkenee ja painatuksessa esiintyy painojäljen laikullisuutta. Suuri emulgoituneen veden määrä merkitsee usein myös lisääntyneenä veden syöttöä, mikä puolestaan lisää paperin kosteutta ja siten hidastaa kuivumista. Emulgoitumista voidaan hallita säättämällä painoväriin ja kostutusveden ominaisuuksien suhde oikeaksi (esim. väriin komponenttien hydrofobisuus, veden pH, lämpötila, väliaineen viskoottisuus) /32/. Kostutusveden ja käytettyjen lisäaineiden käyttäytyminen painoväriin kanssa kannattaa testata ennen painamista, jolloin säästytään yllättäviltä ongelmilta /34/.

3.4 Väriin siirto paperiin ja paperin absorptiokyky

Offsetpainonipin tapahtuma voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: tapahtumat ennen nippiä, tapahtumat nipissä paineen vaikutuksesta sekä nipin jälkeiset tapahtumat (kuva 5) /30,35/.

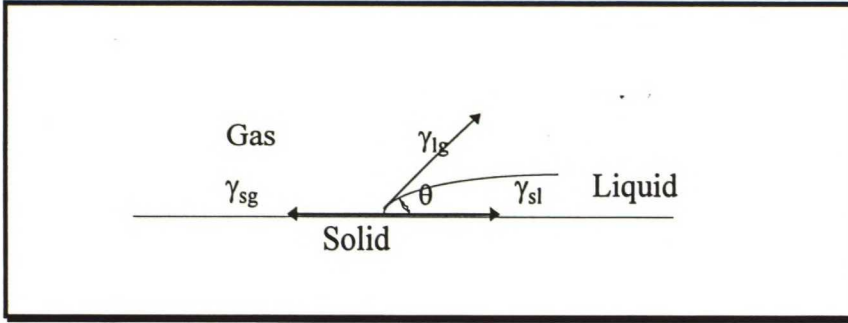


Kuva 5. Kolme painonipin vaihetta. Kuva modifioitu viitteiden /30,35/ mukaan.

Vaiheessa I väri koskettaa jo paperia, jolloin tapahtuu *kastumista*. **Vaiheessa II** väri tunkeutuu nippipaineen vaikutuksesta paperin huokosiin. Tapahtuu värin *painepenetroitumista* ja paperin rakenteen *pakotettua kastumista*. Pehmeästä painotelan materiaalista johtuen telan pinta seuraa paperin epätasaisuuksia ja täyttää ne värillä. Tässä vaiheessa myös kostutusvesi tunkeutuu painamattomille alueille kostuttaen ne. **Vaiheessa III** paperi irtaoo telan pinnasta. *Kapillaari-imu* alkaa vetää väriä paperin huokosiin. Tahmea värikerros jakautuu kahtia osan jäädessä paperin pintaan ja osan kulkeutuessa edelleen telan mukana. Tässä vaiheessa tapahtuu värin rihmoittumista, kun se “repeytyy” kahtia. Paperin pinta joutuu erittäin suurelle rasitukselle ja siitä voi irrota kuituja sekä muita pienempiä partikkeleita.

Painovärin absorptio paperiin on osittain riippuvainen pintakemiallisista tekijöistä. Paperissa raaka-aineina käytetyillä komponenteilla on erilaisia pintakemiallisia ominaisuuksia ja siten niiden osuudet vaikuttavat absorptioon. Esimerkiksi, jos paperin pintaenergia on liian alhainen verrattuna painovärin pintaenergiaan voi

painoväri hylkiä paperia. Paperi ei tällöin kastu. Kastumisilmiötä voidaan selittää *kuvan 6* avulla.



Kuva 6. Kolmen aineen rajapinta ja niiden adheesiovoimat /36/.

Kuvan 6 voimien tasapainotilanne on muotoa:

$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} = \gamma_{lg} \cos\theta \quad (1)$$

Tästä voidaan päätellä nesteen leviävän kiinteän aineen pinnalle, kun kontaktikulma saa tarpeeksi pienen arvon eli, kun yhtälön (1) vasen puoli ≥ 0 . Tällöin saadaan yhtälö muotoon:

$$\cos\theta \leq (\gamma_{sg} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lg} \quad (2)$$

Nestemolekyylien välillä on voimakas vuorovaikutus, joka pitää niitä kiinni toisissaan (koheesiovoimat). Nesteen ja kiinteän aineen rajapinnalla on neste- ja kiinteä aine-molekyylien välillä voimia, jotka vuorovaikuttavat toisiinsa (adheesiovoimat). Saman aineen sisällä, ainetta koossa pitävät voimat ovat siten koheesiovoimia ja kahden eri aineen välillä olevat voimat adheesiovoimia. Nesteen voidaan siis katsoa tarttuvan kiinteän aineen pintaan, kun syntyvän pinnan adheesioenergia on suurempi kuin nesteen koheesioenergia /36/. Tällöin väri tarttuu ja leviää paperin pintaan. Nesteen adheesioenergia kiinteän aineen pinnalla on

$$W_a = \gamma_{sg} + \gamma_{lg} - \gamma_{sl} \quad (3)$$

ja nesteen koheesioenergiaksi saadaan

$$W_c = 2\gamma_{lg} \quad (4)$$

joten neste tarttuu ja leviää kiinteän aineen pinnalle, kun $W_a > W_c$ eli, kun

$$\gamma_{sg} > \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \quad (5)$$

Yhtälön 5 mukaista ehtoa kutsutaan leviämisehdoksi ja se on selvästi tiukempi ehto kastumiselle kuin yhtälön 2 mukainen kontaktikulmaehto. Oittinen ja Saarelma jakavat pintaenergian edelleen dispersiovoimista, polaarivoimista ja vetysidoksista aiheutuviksi komponenteiksi sekä antavat näiden komponenttien avulla kastuvuudelle yleiset ehdot /30/:

$$\gamma_{lg}^d < \gamma_{sg}^d \quad \text{ja} \quad \gamma_{lg}^p < \gamma_{sg}^p$$

jossa yläindeksit d ja p tarkoittavat dispersio- ja polaarivoimakomponentteja.

Esitetty asia tarkoittaa käytännössä sitä, että mitä alhaisempi värin neste/ilma pintaenergia on sitä paremmin se kastelee paperin pinnan. Pintakemialliset ominaisuudet vaikuttavat siten värin absorpoitumiseen paperiin. *Taulukossa 1* on esitetty eräiden aineiden pintaenergioita.

Taulukko 1. Pintaenergioita [γ_{sg} tai γ_{lg} / (mN/m)] eri aineille 20°C lämpötilassa /30/.

selluloosa	48
ligniiniipitoiset kuidut	59
alkyyliketeenidimeeriliimattu paperi	21-33
kaoliini	n. 500
vesi	72,8 20°C
	58 100°C
bentseeni	29

Kastumisvaiheen jälkeen seuraa varsinainen värin absorpoituminen paperiin. Absorpoitumismekanismeina ovat paine- ja kapillaaripenetratio sekä diffuusio. Paine- ja kapillaaritunkeutumista voidaan selittää tutkimalla nesteen tai kaasun virtaamista huokoisessa materiaalissa. Tärkeimmät mallit, joilla sitä kuvataan ovat Darcyn laki /37/ sekä Kozeny-Carman /37/ ja Lucas-Washburnin yhtälöt /38/. Kaikki nämä mallit tekevät oletuksia ja yleistyksiä. Lucas-Washburnin yhtälöä käytetään yleisimmin selittämään nesteen virtausta huokoiseen rakenteeseen. Yhtälö 6 esittää muunneltua Lucas-Washburnin kaavaa, jossa mukaan on otettu ulkoinen nippipaine. Kaavan johto on tehty viitteessä /38/.

$$h^2 = \frac{r^2 t}{4\eta} \left[\left(\frac{\gamma \cos\phi}{r} \right) + \Delta p \right] \quad (6)$$

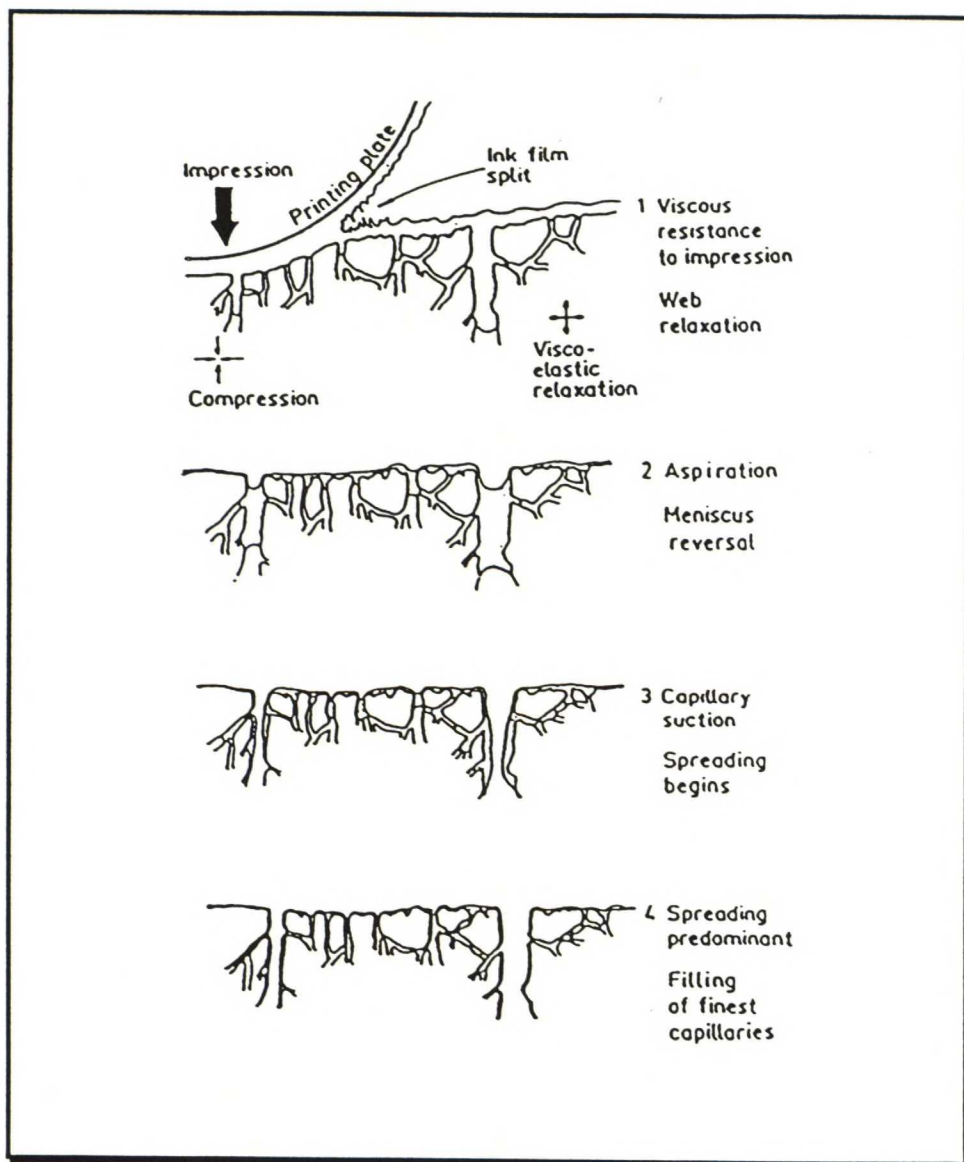
h	tunkeutumisvyvyys
r	hydraulinen säde
t	tunkeutumiseen syvyydelle h käytetty aika
γ	nesteen pintaenergia
ϕ	nesteen kontaktikulma
η	viskositeetti
p	ulkoinen paine nipissä

Yhtälöstä nähdään penetroitumiseen vaikuttavat tekijät. Painonipissä selvästi suurin penetroitumiseen vaikuttava tekijä on ulkoinen nippipaine, jonka vaikutus varsinkin avoimen rakenteen omaavilla päällystämättömillä papereilla on suuri. Ulkoinen paine on niin suuri muihin yhtälön esittämiin tekijöihin verrattuna, että värin tunkeutuminen paperiin on nipissä pakotettua. Suuri ulkoinen paine nipissä saa aikaan myös paperin pakotettua kastumista, jolloin paperi kastuu vaikka kastumisehdot eivät täytyisikään. Painepenetraation avulla tapahtuvan absorpoitumisen määrä ja nopeus ovat voimakkaasti riippuvaisia huokossäteestä. Suuremmat huokokset lisäävät painepenetraatiota huomattavasti. Nipissä voimakas ulkoinen paine puristaa paperin rakennetta kokoon, minkä vuoksi penetraation kannalta on tärkeää paperin huokosten koko puristuksen alaisena. /30,36,38/

Kapillaaripenetraatio alkaa vaikuttaa voimakkaasti vasta ulkoisen paineen lakattua. Yhtälöstä 6 nähdään, että kapillaaripenetroituminen on sitä voimakkaampaa, mitä suurempi kapillaarien hydraulinen säde on. Penetroitumiseen vaikuttavat kuitenkin myös kapillaarien kiertyneisyys ja suunta. Absorpoituneen värin määrään kapillaaripenetraation avulla vaikuttavat kapillaarien lukumäärä sekä niiden yhteenlaskettu kokonaistilavuus. Kapillaaritunkeutumisen merkitys on suuri asettumisessa; nopean asettumisen kannalta kapillaari-imun on oltava suurempi kuin värin liuotinfasia pidättävän voiman. Edullista nopealle asettumiselle on suuri määrä kapillaarihuokosia, jolloin kapillaari-imu on tehokas. Yhtälön 6 mukaan korkeampi värin viskositeetti heikentää absorpoitumista. /30,36,38/

Painovärin komponentit voivat absorboitua paperiin paine- ja kapillaaripenetraation lisäksi myös diffundoitumalla. Esimerkiksi turpoaminen johtuu diffundoitumisesta. Diffundoitumiseen vaikuttavat paperissa käytettyjen aineiden sekä diffundoituvien värin komponenttien molekyylirakenteet. Suuntaa antavasti esim. selluloosan öljynabsorptio on 20-30 ml /100g , kun se

natriumalumiinisilikaatilla on yli 100ml/100g /30/. Kuva 7 esittää värin absorpoitumista paperiin.

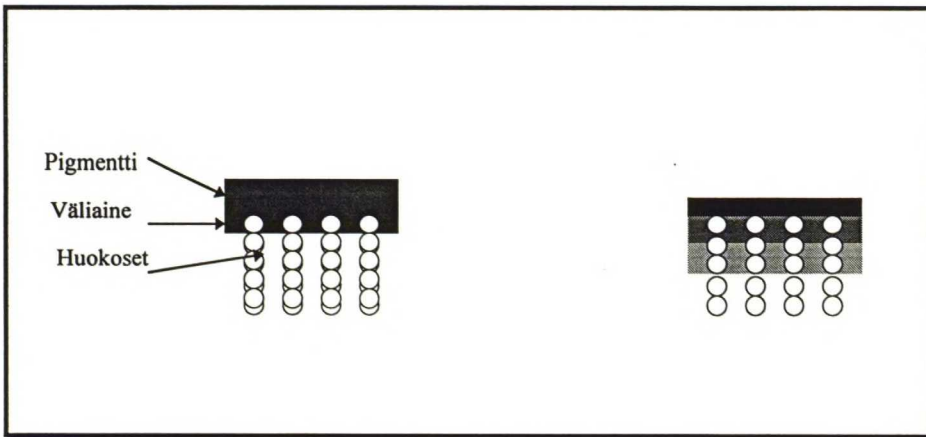


Kuva 7. Painovärin tunkeutuminen paperiin. Ylimmässä kuvassa painepenetraation avulla väri tunkeutuu paperiin. Paperi on kokoonpuristunut. Tärkeitä ovat suuret huokoset. Nipissä tapahtuu myös pakotettu kastuminen, minkä vuoksi ulkoisen paineen lakattua nestepinta kääntyy "nurinpäin" (seuraava kuva). Kahdessa alimmassa kuvassa kuituverkosto palautuu lepotilaansa ja kapillaari-imu imee väriä yhä pienempiin huokosiin. /36/

3.5 Värin asettuminen ja hapettuminen

Värin absorpoituessa paperiin tapahtuu värin fraktioitumista paperin ja värin kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien ansiosta. Väriin dispergoituneet pigmenttipartikkelit, viskoottinen sideaineseos (kasvisöljy ja hartsi) sekä kuivikkeet jäävät paperin pintakerrokseen ohuemman liuottimen erotessa väristä ja absorpoituessa syvemmälle paperiin. Liuotin voi erota väristä jo painepenetraation vaikutuksesta, jos sen affiniteetti muuhun väriin on pienempi kuin penetraatiota vastustavien viskoottisten voimien ero värin eri komponenteilla. Eroaminen tapahtuu kuitenkin viimeistään kapillaaripenetraation ansiosta. Liuottimen erotessa väristä (solvent release) jäljelle jääneen värin viskoottisuus pinnassa nousee tasolle, jolloin se ei enään tartu päälle tulevan paperin pintaan; tällöin väri on asettunut. Asettuneen, päällimmäiseksi jääneen kerroksen pinta alkaa hapettua ja kovettua hapen vaikutuksesta. Alla on kuitenkin vielä pehmeä kerros sideainetta, minkä lopullinen kovettuminen läpi koko kerroksen tapahtuu seuraavien päivien aikana. Liuotin on absorpoitunut syvemmälle paperin pieniin huokosiin, eikä siten pääse häiritsemään kuivumistapahtumaa. /22,27,42,43/

Päällystämättömien paperien rakenne on niin avoin ja huokoinen, ettei yhtä voimakasta ja täydellistä värin fraktioitumista kuin päällystetyillä papereilla pääse tapahtumaan. Ulkoinen paine ja avoin huokosrakenne (paljon isoja huokosia) vaikuttavat siihen, että kaikki värin komponentit, myös isokokoiset pigmenttipartikkelit, työntyvät paine- ja kapillaaripenetraation vaikutuksesta jossain määrin syvemmälle paperiin. Suuremmilla pigmenttipartikkeleilla ja korkeampiviskoottisella sideaineseoksella on kuitenkin taipumusta jäädä paperin pintakerrokseen ohuen liuottimen penetroitua kapillaareihin (*kuva 8*).

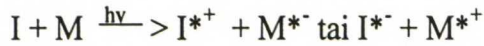


Kuva 8. Värin asettuminen päällystämättömälle paperilla. Vasemmalla värin siirto paperin pinnalle nipissä (painetunkeutuminen) ja oikealla komponenttien fraktioituminen (kapillaaripenetraatio). Kuva modifioitu viitteiden /35,43/ mukaan.

Fraktioitumiseen vaikuttavat huomattavasti paperin huokoskokojakauman ja värin rakenteen yhteensopivuus. Käytettäessä esim. laseroitavia jatkolomakevärejä (ei ohuita mineraaliöljyjä liuottimina) ei asettumisessa pääse tapahtumaan paljoakaan värin eri faasien erkanemista. Väri absorboituu kokonaisuudessaan tasaisemmin paine- ja kapillaaripenetraation vaikutuksesta paperin huokosrakenteeseen.

Asettumisen jälkeen seuraa varsinainen kuivuminen, mikä jatkolomakepaperien kohdalla perustuu sideaineina käytettyjen kasviöljyjen ja hartsien hapettumiseen. Kuivuminen perustuu kaksoisidosten reaktiivisuuteen, minkä vaikutuksesta tapahtuu polymeroitumista. Reaktion edistämiseen käytetään ns. kuivikkeita, initiaattoreita, jotka useimmiten ovat metallisuoloja. Reaktio on esitetty kuvassa 9. Lopullinen kuivuminen hapettumalla on pitkä prosessi ja se kestää useita päiviä. Tarvittava happi saadaan paperin huokosista, ilmasta tai kostutusvedestä. /22,27/

Initaatio:

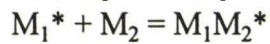
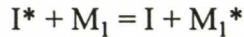


I on initiaattori

* ilmaisee radikaalia

M on monomeeri

Propagaatio:



Kuva 9. Initiaattorin eli katalyytin toimesta monomerista tulee radikaali. Radikaalin muodostuttua monomeerit muodostavat keskenään ketjuja (propagaatio). Reaktio päättyy kun kaksi radikaaliketjua reagoi keskenään /30/.

Mekaanisiin printtereihin menevissä jatkolomakeväreissä käytetään liuottimena mineraaliöljyjä, joille ei tapahdu vastaavanlaista hapettumisreaktiota. Nämä öljyt eivät pääse varsinaisesti haihtumaan paperista pois vaan ne jäävät sellaisenaan paperin huokosiin ja voivat myöhemmin aiheuttaa ongelmia esim. vaeltaessaan takaisin paperin pintakerrokseen.

3.6 Potentiaaliset tarttumisongelman aiheuttajat

Tarttumisongelma voi johtua joko asettumis- tai hapettumisvaiheessa syntyvistä häiriöistä. Asettumisvaiheen häiriöt johtavat helposti tahmeaan väripintaan, mistä on seurauksena paperien blokkautuminen eli kiinnitarttuminen pinossa /46/. Hapettumisvaiheen häiriöt aiheuttavat puolestaan usein värin lopullisen kuivumisen hidastumista, joskus myös sen täydellistä estymistä. Tällöin hyvin asettuneen, pintakuivan painoväripinnan alla oleva värikerros ei kovetu vaan voi aiheuttaa tarttumista.

Pääsisältöisesti asettumis- ja hapettumisvaiheessa tapahtuvat häiriöt voidaan jakaa syntyviksi joko paperin tai värin fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Kyse on yhteensopimattomuudesta, jolloin ongelman syntyessä on vaikea sanoa

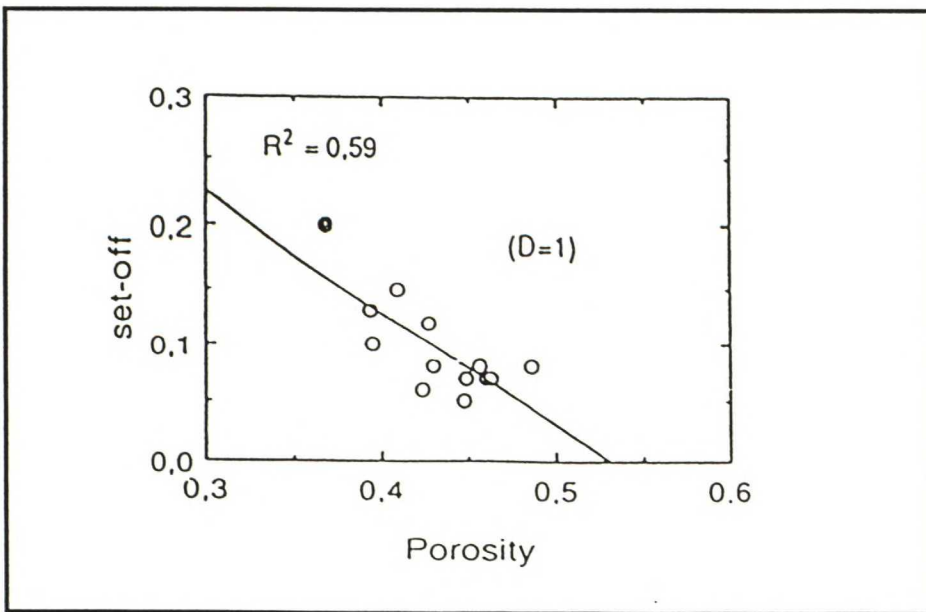
kumpi puoli on ylittänyt turvallisuusrajat; muutoksiahan tapahtuu molemmissa pakostakin koko ajan (värierät, paperin raaka-aineet).

Paperin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet muodostuvat paperinvalmistusprosessissa sekä myös painatuksessa. Värin vastaaviin ominaisuuksiin voi taas vaikuttaa vain värin valmistaja.

3.6.1 Asettumisessa esiintyvät ongelmat

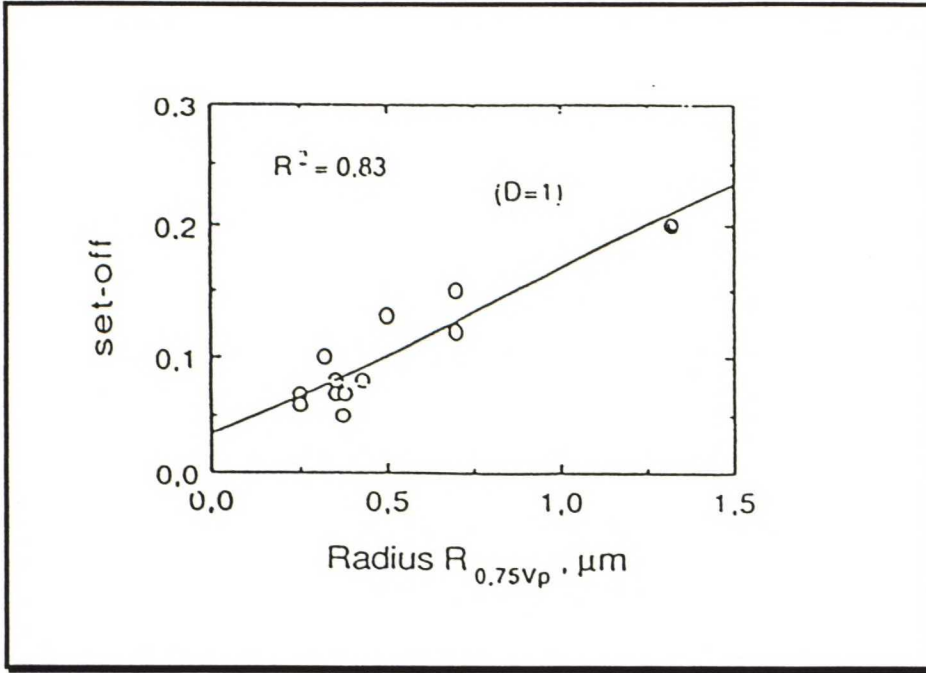
Alhainen paperin absorptiokyky heikentää painovärin asettumista /22,47/. Absorptioon vaikuttavat tärkeimpinä tekijöinä huokoskoko ja -tilavuus sekä pintakemialliset ominaisuudet.

Bristown ja Bergenbladin mukaan asettumiselle on edullista, että paperilla on suuri huokostilavuus /44/. Alhainen huokostilavuus hidastaa värin asettumista, jolloin osa väristä jää helpommin pinnalle ja tahraa. *Kuva 10* esittää kuinka korkea huokostilavuus nopeuttaa asettumista.



Kuva 10. Huokostilavuuden merkitys set-offiin päällystämättömällä paperilla /44/.

Bristown ja Bergenblad esittävät myös, että pieni huokoskoko on edullista asettumiselle (*kuva 11*) /44/. Pienten huokosten alhainen määrä paperissa heikentää kapillaari-imua, vähentää värin penetraatiota ja siten hidastaa asettumista. Heikompi kapillaari-imu ei pysty myös yhtä tehokkaasti erottamaan liuotinta sideaineefaasista, jolloin väriin jäänyt liuotin tahraa.



Kuva 11. Huokoskoon vaikutus set-offiin päällystämättömällä paperilla /44/.

Pienten huokosten merkitys riippuu kuitenkin myös painovärin liuottimen eroamisominaisuudesta paksummasta sideaineefaasista. Jos liuottimen affiniteetti sideainefaasiin on korkea ei suurikaan kapillaari-imu pysty erottamaan liuotinta väliaineefaasista /22,46/. Seurauksena on liuottimen jääminen värikerrokseen ja painopinnan tahmaantuminen. Ongelmaa pystytään parantamaan valitsemalla väriin heikompi liuotin tai kasvattamalla hartsi/öljy-suhdetta paremman solvent release-ominaisuuden saavuttamiseksi /22/.

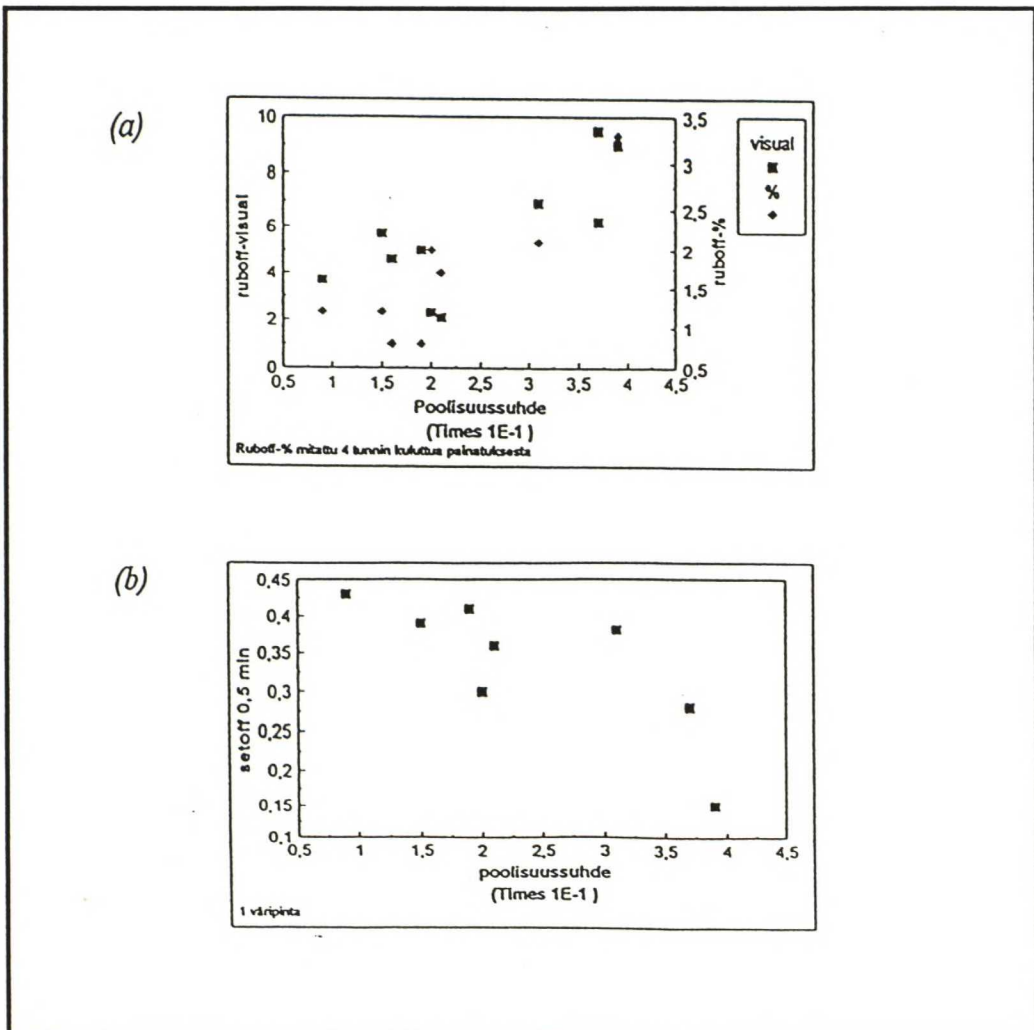
Huonon liuottimen eroamisominaisuuden lisäksi värin rakenne voi heikentää absorpoitumista pintakerroksia syvemmälle, vaikka molemmat tutkimuksen /44/

asettumista edistävät ominaisuudet paperissa toteutuvatkin (suuri huokostilavuus, joka koostuu paljolti pienistä huokosista). Ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi laservärit, joissa ei käytetä ohuita mineraaliöljyjä vaan ne on korvattu hapettuvilla kasvisöljyillä. Vähäinen määrä suuria huokosia heikentää nippipaineen vaikutuksesta tapahtuvaa värin absorpoitumista paperiin, minkä lisäksi kapillaari-imun aiheuttama penetraatio ei ole yhtä voimakasta johtuen kasvisöljyjen suuremmasta viskositeetista. Vaikutus on vielä suurempi korkeaviskoottisemmillä kuivaoffsetväreillä. Hapettava sideainekerros jää enemmän paperin pinnalle. Seurauksena on helposti lomakkeiden kiinnitarttuminen pinossa pinnalle jääneen sideainekerroksen hapettumisen edistyessä. Mineraaliöljyn korvaaminen kasvisöljyllä on todettu hidastavan värin asettumista päällystämättömillä papereilla /48,49/.

Pienet huokokset toimivat myös suodattimina kiinteille pigmenttipartikkeleille sekä korkeampiviskoottiselle sideaineefaasille. Suuret pigmentit tai niiden flokkaantumistaipumus voivat estää väliaineen tunkeutumista huokosiin ja aiheuttaa tahraantumista. Liian pieni pigmenttikoko paperin huokosiin verrattuna voi puolestaan aiheuttaa läpipainatusta. /29,38/

Absorptioon vaikuttavat myös pintakemialliset ominaisuudet. Pintakemiallisten ominaisuuksien yhteensopimattomuus voi heikentää värin imeytymistä paperiin. Paperin pintaenergian tulisi olla suurempi kuin värin. Tämän lisäksi eri pintaenergiakomponenttien osuuksilla kokonaispintaenergiasta on oma merkityksensä. Äikäs on todennut paperin pintaenergian dispersiivisen komponentin kasvun nostavan veden absorptiota paperiin /42/. Absorpoitunut vesi hidastaa sideaineen polymeroitumista, mikä näkyy rub-off arvojen huonontumisena. Paperin poolisen pintaenergiakomponentin pieni osuus (alhainen poolisuussuhde) pitäisi olla edullista, koska painoväri ei-poolisena imeytyy paremmin pintaan, joka on enemmän ei-poolinen. Toisaalta alhainen poolisuus heikentää poolisen veden imeytymistä paperiin. Tällöin ennen väriä paperiin osuva kostutusvesi ei "esikastele" paperin pintaa yhtä hyvin ja värin

absorpoituminen heikkenee. Tämä näkyy set-offin lisääntymisenä paperin pintaenergian pooliosuuden pienentyessä /42/. Alhainen poolisuus vähentää kostutusveden “esikasteluefektiä”, jolloin paperiin imeytyy vähemmän vettä ja värin kuivuminen nopeutuu; rub-off arvot paranevat pooliosuuden pienentyessä. Äikäksen saamien tulosten perusteella märkäoffsetissa korkea paperin poolisuusuhde siis nopeuttaa asettumista, mutta hidastaa kuivumista (kuvat 12a ja b). Vastaavasti on pääteltävissä, että kuivaoffsetissa alhainen poolisuus on eduksi, koska väri ei-poolisena nesteinä imeytyy paremmin poolittomaan pintaan. Tällöin kostutusveden puuttuessa sekä set-off että rub-off arvojen pitäisi parantua.



Kuvat 12a ja b. Poolisuuden vaikutus rub-offiin (a) ja set-offiin (b). Mittaukset tehty märkäoffsetilla painetuille päällystetyille kartongeille /42/.

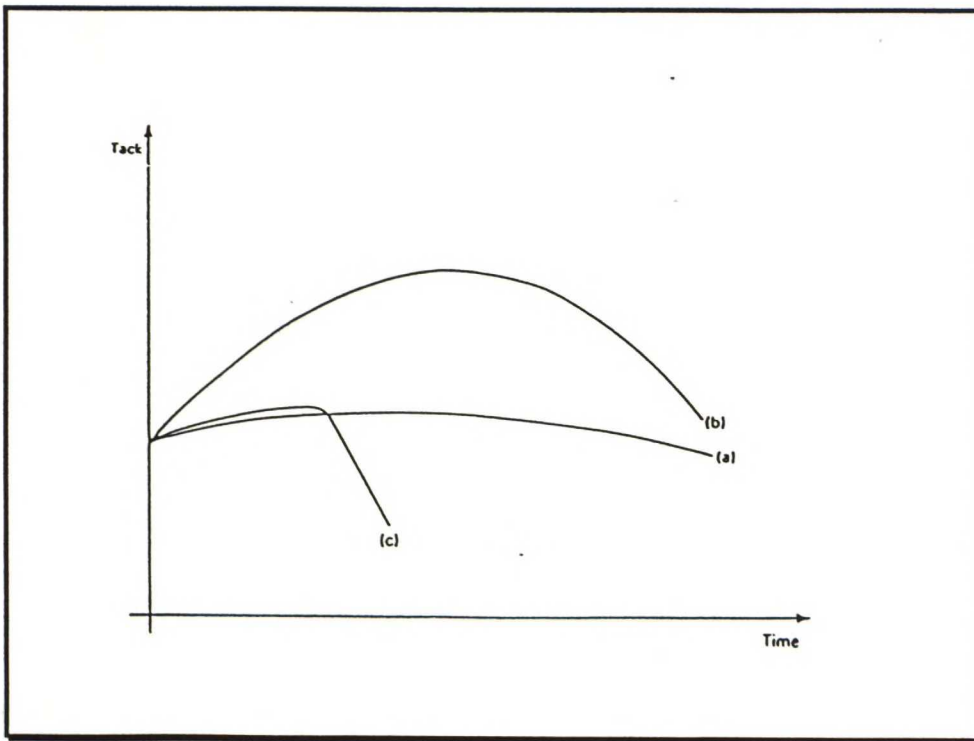
Mekaanisten massojen uuteaineet ("pihka"), lähinnä öljyliukoiset hartsi- ja rasvahapot alentavat paperin pintaenergiaa. Suuri pihkan retentio paperiin voi siten aiheuttaa värin adheesion pienentymistä. Öljyliukoiset uuteaineet voivat myös diffundoitua painovärikerrokseen pehmentäen sen. Diffuusion todennäköisyys on sitä suurempi mitä pienimolekyyllisempi vaeltava aine on. Täten pienimolekyylliset öljyliukoiset uuteaineet voivat diffundoitua öljypohjaiseen painovärikerrokseen. Vaellus tapahtuu helpommin pehmeään värikerrokseen, mutta diffuusio voi esiintyä myös jo kuivuneeseen, kiinteään painoväriin. Tällöin vaellus kestää kauemmin, viikkoja. Pitkän vaelluksen aikana diffundoituvat aineet voivat jo osittain haihtua, jolloin vaelluksen vaikutus painoväriin on vähäisempi. Ligniini polymeerina, jonka molekyylipaino on korkea, on erittäin epätodennäköinen vaeltaja. /50/

Kirjallisuudessa /22/ on myös maininta kapillaareihin penetroituneen liuottimen vaeltamisesta takaisin painovärikerrokseen (sweat-back). Hapettumisreaktion tuottaessa lämpöä liuottimen affiniteetti hartsiin voi nousta, jolloin se vaeltaa takaisin sideainekerrokseen pehmentäen sen. Vaeltamista esiintyy yleensä käytettäessä pientäkin määrää vahvempia liuottimia.

Liian suuri absorpoivuus voi puolestaan saada aikaan värin eri komponenttien lähinnä sideaineiden tunkeutumista liian syvälle paperiin, jolloin suurikokoisemmat pigmentit jäävät lähes yksin pinnalle. Tällöin sideaineiden osuus pinnalla voi olla liian pieni sitomaan pigmenttejä paperiin ja ne voivat lohkeilla pois (chalking). Myös kuivumisen edistämiseen käytetyt kuivikkeet esim. koboltti saattavat suuren huokoisuuden takia ajautua paperin sisäkerrokseen, jolloin kuivumisreaktio ei ole täydellinen paperin pinnalla. /45,51/

Viskositeetin merkityksestä asettumiseen esitetään kirjallisuudessa /43,52/ erilaisia mielipiteitä. Esitetään, että korkeaviskootin väri jää enemmän pintaan ja voi siten aiheuttaa set-offia. Esimerkiksi, hartsin osuuden lisäys aiheuttaa sideaineseoksen viskositeetin nousua ja siten lisää set-offia. Toisaalta tuodaan

kuitenkin esille nopean viskositeetin nousun edut asettumiselle; liuottimen nopea eroaminen väliaineesta nostaa viskositeettia ja siten edistää asettumista. Ristiriita on liitettävissä värin yleiseen tahmeuteen ja tahmeuden kehittymiseen viskositeetin noustessa; ongelmia voi esiintyä, jos väri asettuessaan ja viskositeetin noustessa käy läpi tahmean vaiheen (*kuva 13*) tai jos värin tahmeus on muutenkin korkea /22/. Viskositeetin nopea nousu on siten asettumisessa edullista, mutta set-off ongelma voi esiintyä, jos värin tahmeus nousee liikaa. Ongelmaa voidaan estää vaihtamalla väriin hartsia, joka nopeasti nostaa viskositeettia liuottimen poistuessa, mutta joka ei aiheuta tahmeutta.

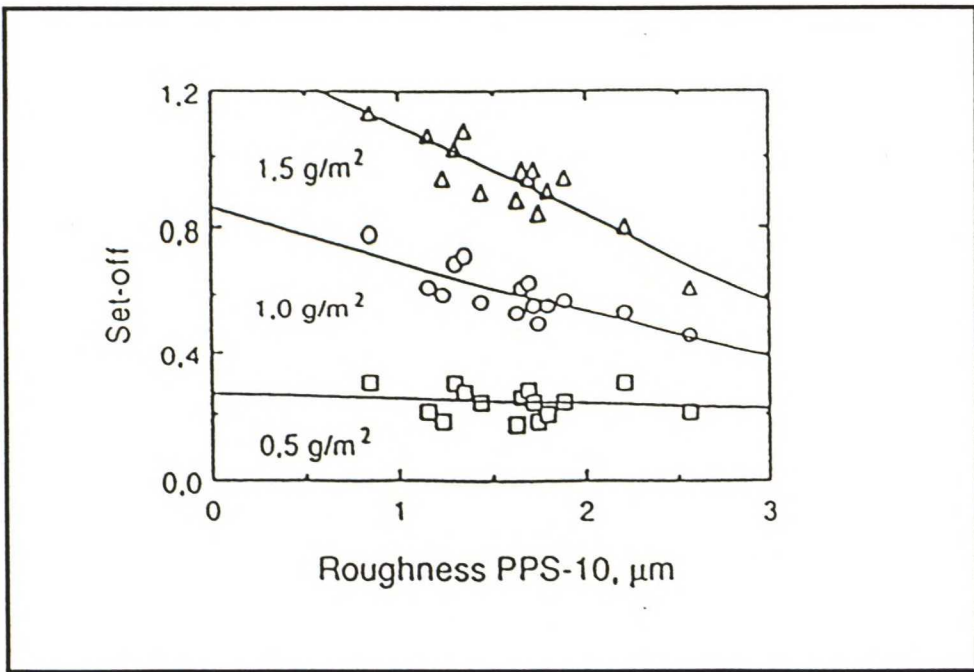


Kuva 13. Värin tahmeuden kehittymisen vaikutus set-offiin painatuksen jälkeen: (a) hidas asettuminen, hidas tahmeuden nousu värissä - vähän set-offia; (b) hidas asettuminen, korkea tahmeuden nousu - paljon set-offia; (c) nopea asettuminen, hidas tahmeuden nousu - ideaali tilanne, minimaalinen set-off /22/.

Värin reologisista ominaisuuksista tiksotrooppisuus on asettumisessa edullista. Telastolla korkeiden leikkausvoimien alaisena väri on juoksevaa, mutta värin

siirron jälkeen leikkausvoimat eivät vaikuta ja värin viskositeetti nousee edistään asettumista /27/.

Paperin sileys lisää kontaktipinta-alaa, joten set-off lisääntyy /22,44/. Karhean paperin etuna on myös painovärin mekaanisen adheesion paraneminen paperissa /30/. Karheuden vaikutus näkyy *kuvassa 14*. Kuvasta näkyy myös värin määrän vaikutus asettumiseen. Suuremmilla värimäärillä asettuminen hidastuu.



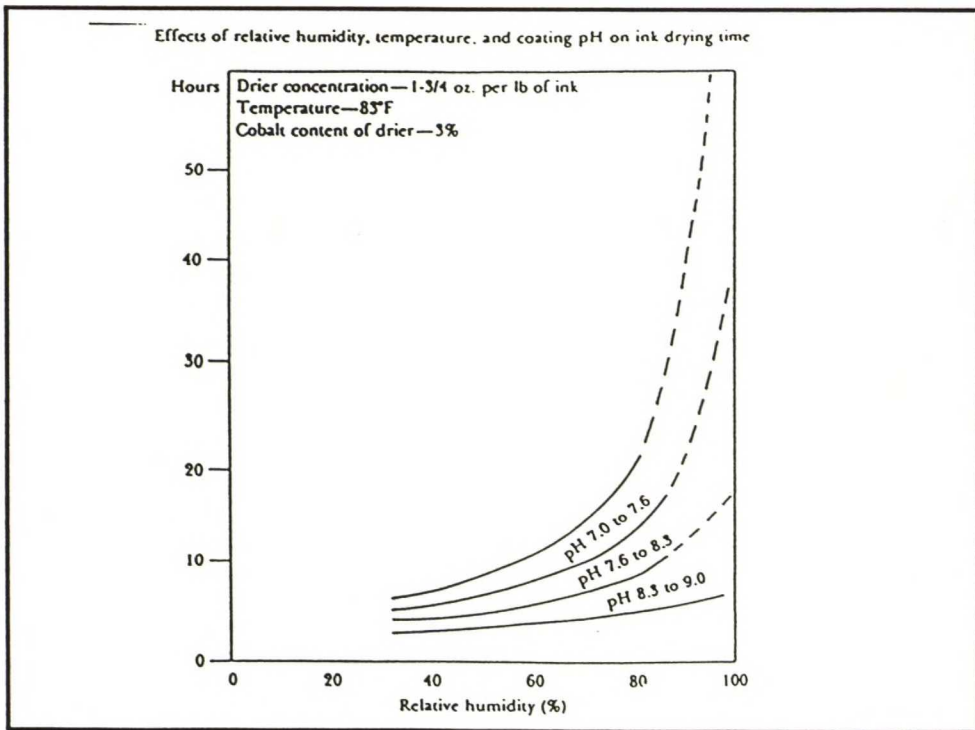
Kuva 14. Set-offin riippuvuus karheudesta kolmella eri värimäärällä (päällystetty kartonki) /44/.

Muita asettumisvaiheen ongelmia voivat aiheuttaa liian korkeat lomakepinot tai äkilliset vertikaaliset tai horisontaaliset liikkeet (valmiiden pinkkojen liikuttelu), jotka aiheuttavat painettujen pintojen kontaktin lisääntymistä ja hiertymistä /53,54/. Asettumiseen vaikuttavat lisäksi muutokset painatuksen prosessimuuttujissa, esim., painokoneen nopeudessa /22/.

3.6.2 Hapettumisessa esiintyvät ongelmat

Hapettumiseen tarvittavaa happea sideaine saa paperin huokosista sekä laskostettaessa paperin väliin jääneestä ilmasta. Tiivis paperin rakenne ja alhainen karheus estävät hapen saantia ja vaikeuttavat kuivumista. Staattinen sähkö voi myös lisätä lomakkeiden kontaktia ja estää hapen kulkeutumista painetuille pinnoille /22,54/.

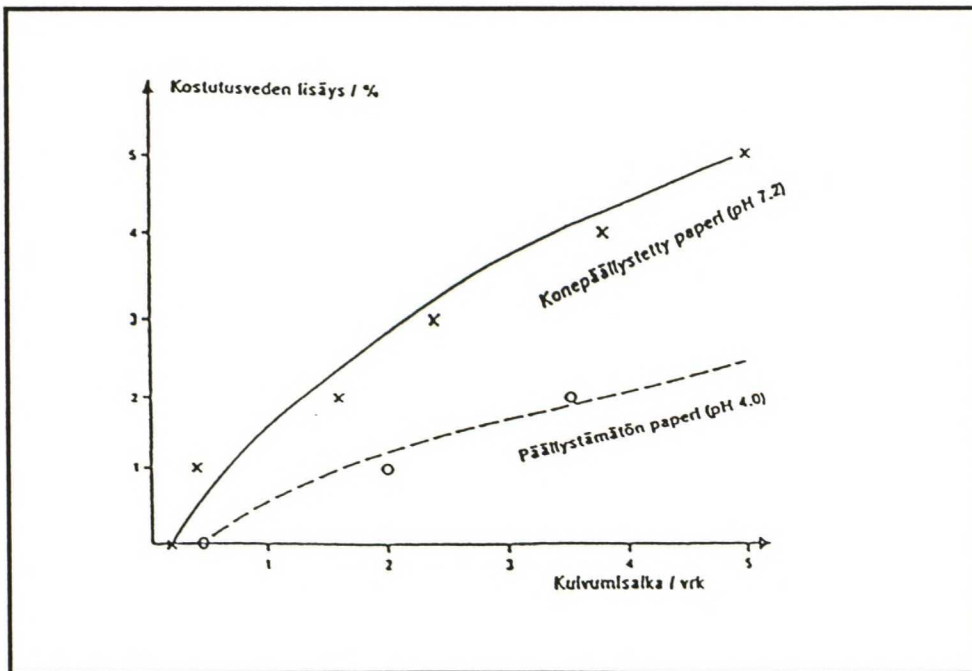
Paperin happamuudella on vaikutusta useisiin hapettumistapahtumaan vaikuttaviin tekijöihin. Kuva 15 esittää pH:n ja kosteuden vaikutusta kuivumisaikoihin. Merkityksellisiä ovat sekä paperin oma, että märkäoffsetissa käytetyn kostutusveden pH. Liiallinen paperin ja kostutusveden happamuus heikentää polymerisaation edistämiseen käytettävien kuivikkeiden toimintaa ja siten hidastaa kuivumista. Tarpeeksi alhainen pH voi estää kuivikkeiden toiminnan kokonaan /43/.



Kuva 15. pH:n ja kosteuden vaikutus värin kuivumiseen. Arvot mitattu paperista. Käytetty väri on hapettuen kuivuva offsetväri /55/.

Kostutusveden alhainen pH voi aiheuttaa myös kuivikkeen liukenemista kostutusveteen ja edelleen paperiin syvemmälle kuin sideaineena käytetty öljy, estäen siten painoväriin kovettumista. Toisaalta uudemmissa väreissä kuivike voi olla epäorgaanista peroksidia, joka on dispergoituneena öljyyn. Tällöin kostutusveden täytyy olla hieman hapan, jotta kuivike saadaan luovuttamaan happea polymerisoitumisreaktiota varten. Liian korkea kostutusveden pH aiheuttaa puolestaan veden emulgoitumista väriin lisäten asettumisaikaa sekä pidentäen siten myös kuivumista. Kostutusveden pH:lle on annettu ohjearvona 4,8-5,5 ja paperille 5-7 /29,43/.

Väriin kuivumista hidastaa myös kosteus. Kosteus voi olla häiritsevän korkea useasta eri syystä: paperin alkuperäinen kosteus on korkea, painosalin ja varastoinnin kosteus on liian korkea tai märkäoffsetissa käytetyn kostutusveden määrä on suuri (kuva 16) /22,43/.



Kuva 16. Kostutusveden määrän vaikutus offsetpainoväriin kuivumisaikaan /22/.

Painosalin kosteus ja lämpötila vaikuttavat paperin imemään kosteuteen. Jos paperi tuodaan kylmästä varastosta lämpöiseen painosaliin eikä sitä ole kääritty kosteutta eristävään kääreeseen tai jos kääreet poistetaan heti kun paperi on vielä kylmää, imee se kosteutta itseensä. Tällöin paperin kosteus kasvaa ja painatuksen jälkeinen hapettuminen hidastuu /54,56/. Kostutusveden määrä voi kasvaa korkeaksi, jos veden emulgoituminen väriin on suurta. Tätä voidaan estää veden ja värin pintakemiallisia ominaisuuksia säätämällä /33/.

Polymerisointireaktion edistämiseen käytettyjen kuivikkeiden määrä saattaa olla liian pieni, jotta kuivuminen tapahtuisi täydellisesti. Liian suuri määrä kuiviketta voi puolestaan estää värin kovettumista tarpeeksi /51,55/. Kirjallisuudessa löytyy myös maininta mahdollisesta kuivikkeen reagoimisesta alunan kanssa tai adsorpoitumisesta paperikomponenttien pintaan /32/. Adsorpoitusilmiö voi tapahtua, jos esillä on komponentteja esim. pigmentit, joiden ominaispinta-ala on suuri. Kuivikkeiden adsorpoituminen tapahtuu useimmiten vanhoille väreille, koska värin kuivumispotentiaali pienenee iän myötä /22/. Ongelmaa voidaan korjata lisäämällä väriin uutta kuiviketta. Kuivikkeiden eli oksidanttien lisäksi väreissä käytetään usein myös antioksidantteja estämään värin nahoittumista telastolla. Antioksidanttien pitäisi poistua painovärikerroksesta liuottimien mukana syvemmälle paperiin tai haihtua värikerroksesta pois. Jos ne jäävät värikerrokseen haittaavat ne hapettumista. Kuivikkeen valinnalla voidaan myös vaikuttaa sen tehoon ja esim. pH herkkyyteen. Koboltti on tehokas hapetin, mutta herkkä liukenemaan happameen kostutusveteen. Magnesium on heikompi hapetin, mutta tolerantimpi kostutusveden pH:lle. Epäorgaaniset peroksidit ovat hyviä hapettimia, mutta vaativat happamen kostutusveden toimiakseen.

Kuivumisongelmaan voi olla syynä riittämätön sideaineena käytetyn kasvisöljyn hapettumispotentiaali. Sideaineen vaihtamisella voimakkaammin happettuvaan voidaan asia korjata /22,53/.

Kuivumisessa tapahtuva hapettumisreaktio on eksoterminen, joten se tuottaa lämpöä ja kaasuja. Lämpötila tiiviin paperipinon sisällä voi nousta liikaa ja saada aikaan värin tahmaantumisen ja blokkaantumisen pinon uudelleen jäähtyessä /51,55,56/. Toisaalta riittävä varastointilämpötila kuivumisen aikana edistää hapettumista. Kuivumisnopeus kaksinkertaistuu lämpötilan ollessa välillä 24-27 °C verrattuna väliin 16-18 °C /43/.

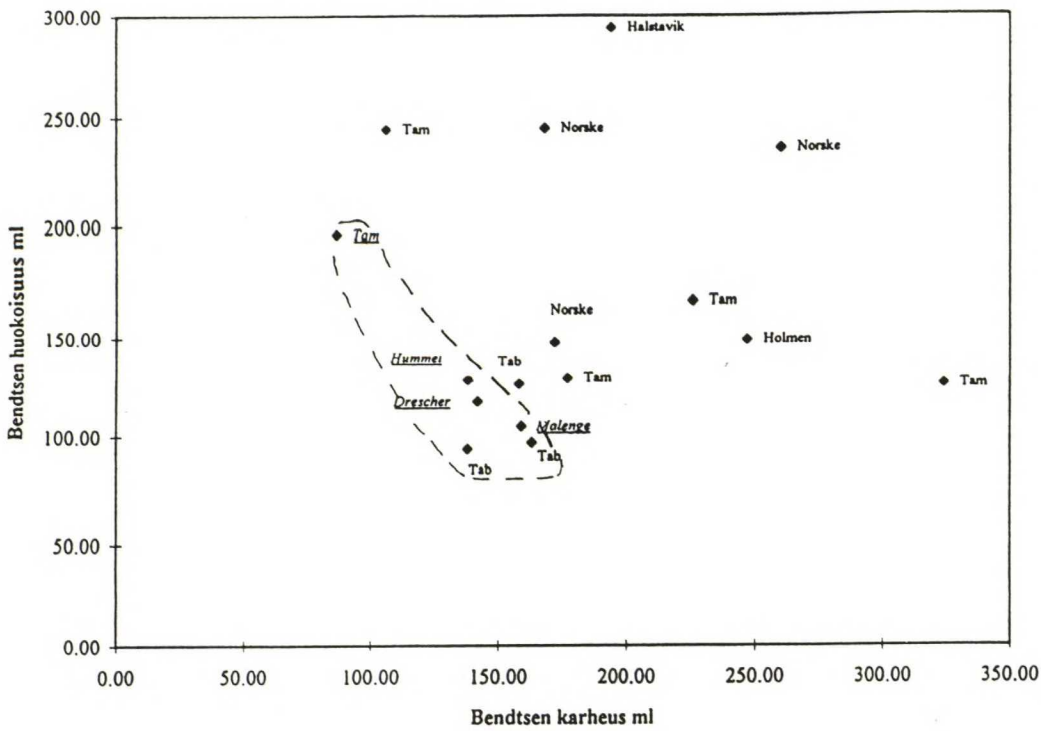
4. KOKEELLISEN OSAN TAVOITEASETTELU

Kokeellisen osan lähtökohdaksi otettiin kirjallisuushaun ja haastattelujen esille nostamat mahdolliset syyt esipainettujen lomakkeiden tarttumiseen. Ominaisuudet on lueteltu *taulukossa 2*.

Taulukko 2. Paperin ja värin ominaisuudet, jotka kirjallisuuden mukaan voivat aiheuttaa lomakkeiden tarttumista. Taulukossa on esitetty myös mittaustavat siltä osin kun niitä on olemassa.

VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	HÄIRIÖN ESIINTYMINEN/MITTAUS			
PAPERIN TILASUURE	Asettuminen	Mittaus	Hapettuminen	Mittaus
karheus	X	set-off	X	rub-off
huokoskokojakauma	X	set-off	X	rub-off/FTIR
huokostilavuus	X	set-off	X	rub-off/FTIR
sähköstaattisuus			X	
pH			X	
kosteus			X	
uuteainepitoisuus	X	set-off	X	
paperin pintaenergiasuhteet	X	set-off	X	
VÄRIN OMINAISUUDET				
värin määrä (pigmentin vahvuus)	X	set-off	X	
kuivikkeen tehollinen määrä			X	
kasvisöljyn hapettumispotentiaali			X	
liuottimen "jälkiaffiniteetti"			X	
värin asettumisnopeus:	X	set-off		
- tahmeuden nousu				
- solvent release-ominaisuus				
- tiksotropia				
- pigmenttikoko				
MUUT TEKIJÄT				
kostutusveden määrä			X	
varastointilämpötila			X	
varastointikosteus			X	

Esitutkimusten perusteella päädyttiin epäilemään lomakkeiden kiinnitarttumisen johtuvan todennäköisimmin alhaisesta karheudesta ja huokoisuudesta. Ongelmaeriä sekä asiakaspalautteen perusteella valittuja hyviä papereita verrattiin keskenään, jolloin ainoastaan huokoisuuden ja karheuden kohdalla voitiin todeta "subjektiivista korrelaatiota" valitusten kanssa (*kuva 17*).



Kuva 17. Potentiaaliset tarttumisen aiheuttajat esitutkimusten perusteella olivat alhainen karheus ja huokoisuus. Kuvassa alleviivatut paperit olivat aiheuttaneet valituksia Summan asiakkailta. Kilpailijanäytteet olivat asiakaspalautteen mukaan hyvin toimivia papereita. Kuvasta nähdään, että Summa Tab on "riskialueella".

Muiden taulukon 2 mukaisten paperin tilasuureiden kohdalla ei näin selvää korrelaatiota löytynyt. Tarttuminen voi johtua myös värin tai painatus- ja varastointiolosuhteiden muutoksista. Tarttumisongelmaa oli kuitenkin esiintynyt vähemmän kilpailijoiden papereilla. Siten uskottiin, että tarttuminen johtui pääasiassa paperin ominaisuuksien eroista ja, että sitä voitaisiin estää paperin tilasuuremuutoksilla.

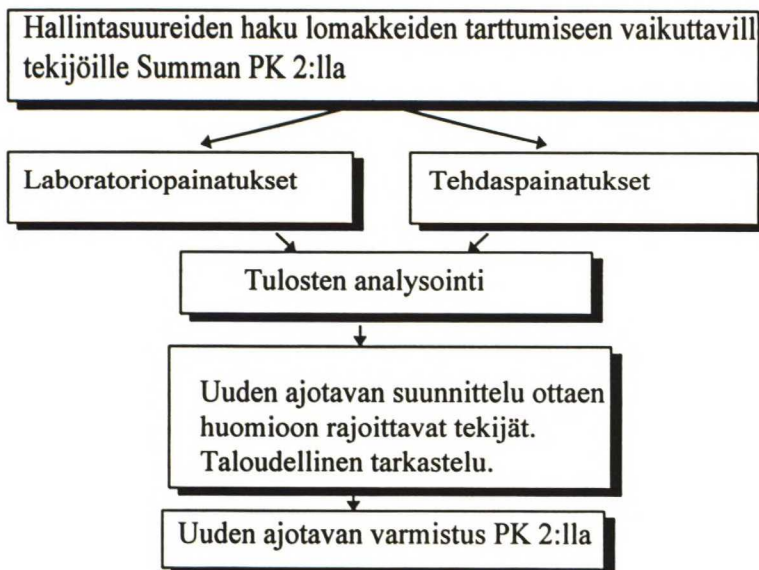
Esitutkimusten tuloksia tukevat Summan asiakkaiden toimeksiannosta tehdyt tutkimukset Saksassa FOGAN (Forschungsgesellschaft Druck e.V.) tutkimuslaitoksessa. Kesällä 1994 tehdyssä tutkimuksessa he epäilivät syyn olevan liian tiiviissä ja sileässä paperissa. Myöhemmin saman vuoden lopulla tehdyssä uudessa tutkimuksessa FOGRA etsi tarkemmin kemiallisia syitä kuivumisongelmiin, mutta selvää syytä ei pystytty esittämään. He ainoastaan

totesivat paperin happamuuden ja uuteainepitoisuuden hidastavan värin kuivumista ja siten olevan mahdollinen syy lomakkeiden tarttumiseen.

Kokeellisen osan tavoitteeksi muodostui siten tutkia voidaanko tarttumista estää muuttamalla paperia huokoisemmaksi ja karheammaksi. Osatavoite oli myös pyrkiä valottamaan paperin happamuuden, uuteainepitoisuuden, sähköstaattisuuden sekä pintaenergioiden vaikutusta tarttumiseen. Lopullinen tavoite oli hakea Summa Tabille uusi tuotantoon sopiva ajotapa PK 2:lla, jotta tarttumisen todennäköisyys olisi mahdollisimman pieni. Niiltä osin, kun haluttuja ominaisuuksia ei paperiin voi saada, oli tavoittena pyrkiä esittämään muutosehdotuksia joko painatusolosuhteisiin tai väreihin.

Kokeiden suunnittelussa ongelmaksi muodostui selkeän mittausmenetelmän puuttuminen painovärin kuivumisen ja lomakkeiden tarttumisen seurannalle. Tarttumisen todennäköisyyttä jouduttiinkin siten arvioimaan erilaisilla värin asettumista, absorpoitumista ja hankauskestoa kuvaavilla mittauksilla.

Kokeellisen osan tavoitteellinen rakenne on esitetty *kuvassa 18*.



Kuva 18. Työn tavoitteellinen rakenne.

Kappaleessa 5 on haettu kirjallisuustutkimuksen esittämille tarttumista estäville tekijöille hallintasuureita Summan paperikone kahdella. Tämän jälkeen kappaleessa 6 on tehty sekä laboratorio- että tehdaspainatuksia, joiden avulla on saatu empiiristä todistetta tarttumisen todennäköisyyttä vähentävistä tekijöistä. Painatustulosten analysoinnin jälkeen on kappaleessa 7 käytännön sekä lasertulostuksen rajoitteet huomioiden suunniteltu Taguchi-tulosten avulla Summa Tabille uusi tuotantotapa PK 2:lla. Samassa kappaleessa on esitetty myös uuden ajotavan tulokset sekä tehty taloudellinen tarkastelu.

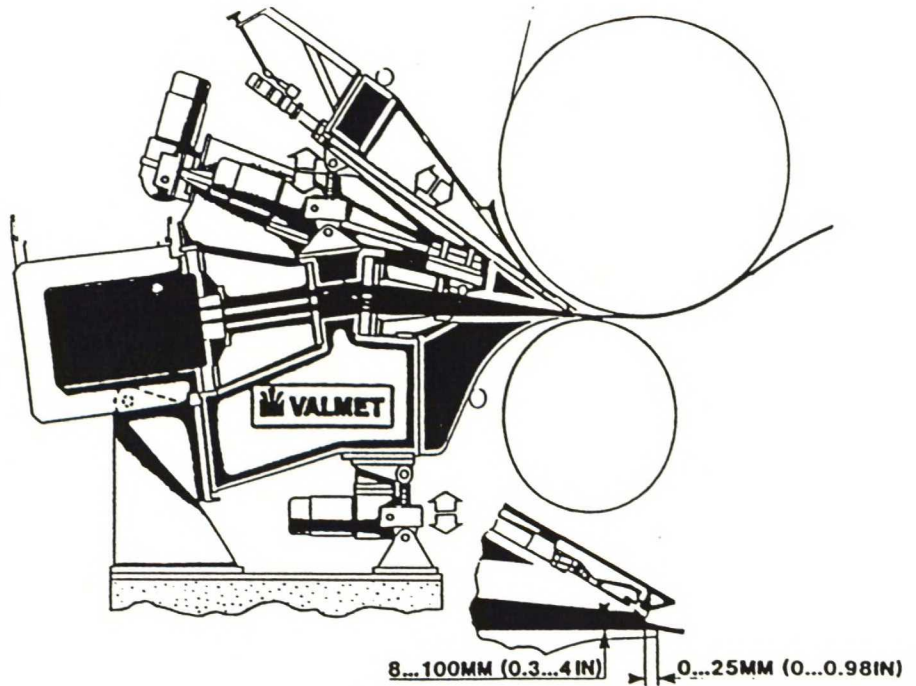
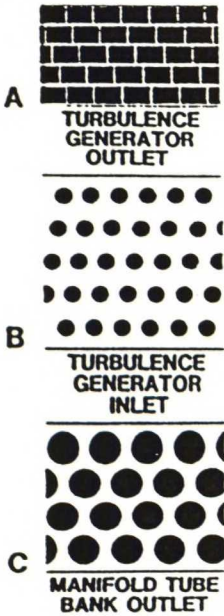
5. HALLINTASUUREIDEN HAKU SUMMAN PK 2:LLA

5.1 Summan PK 2:n esittely

Summan PK 2 uusittiin vuonna 1993 soveltuvaksi erikoispainopaperikoneeksi (kirja-, lomake sekä erikoissanomalehtilajit). Muutoksia tehtiin lyhyeen kiertoon (uusi rejektisihti), viira- ja puristinosalle ja kalanterille.

Paperikoneen perälaatikko on Valmetin Sym-Flo versio (*kuva 19*), johon on liitetty Jetmatic-profiilinsäätö (hienosäätölaitteita eli pinteitä on 73 kappaletta). Lyhyestä kierrosta tuleva massa virtaa jakotukin kautta pillistön läpi välikammioon, jossa virtausprofiili tasaantuu. Turbulenssigeneraattorissa massa saatetaan turbulenssitilaan ja ohjataan huulikanavan kautta formerille. Käyttö- ja hoitopuolella on lisäksi massan lisävirtausputket, joilla voidaan hallita orientaatioprofiilia ja pääorientaationsuuntaa 0.5-1 m radan reunasta sekä estää poikittaisvirtauksia. Perälaatikolla saadaan aikaan hyvä poikkisuuntainen neliömassaprofiili.

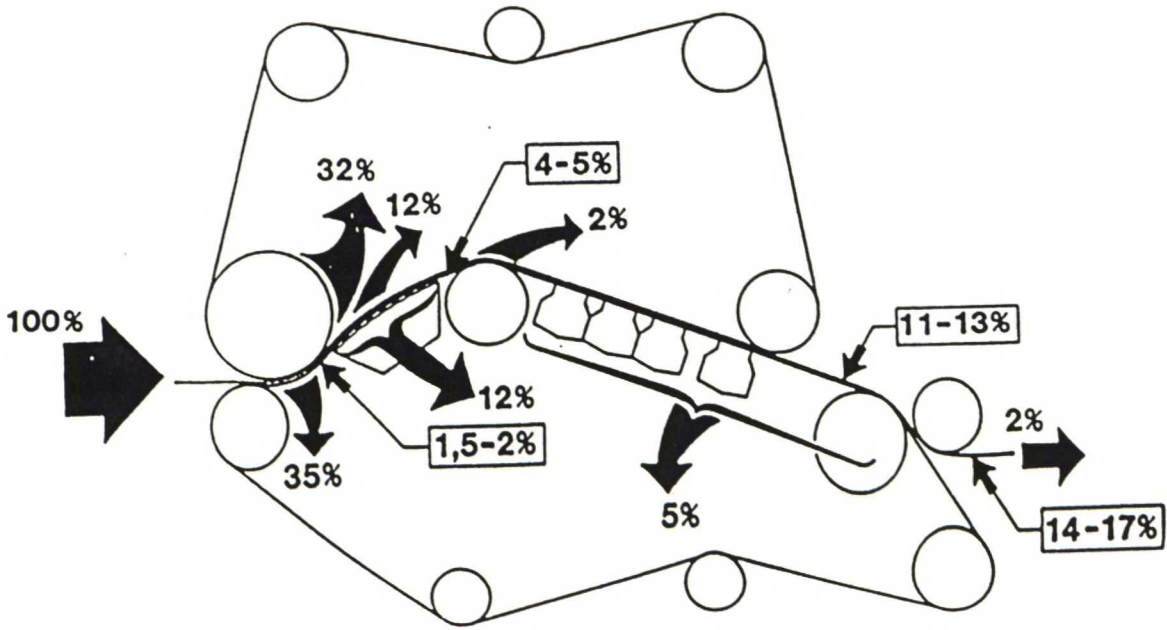
VIEW



Kuva 19. Summan PK 2:n perälaatikko.

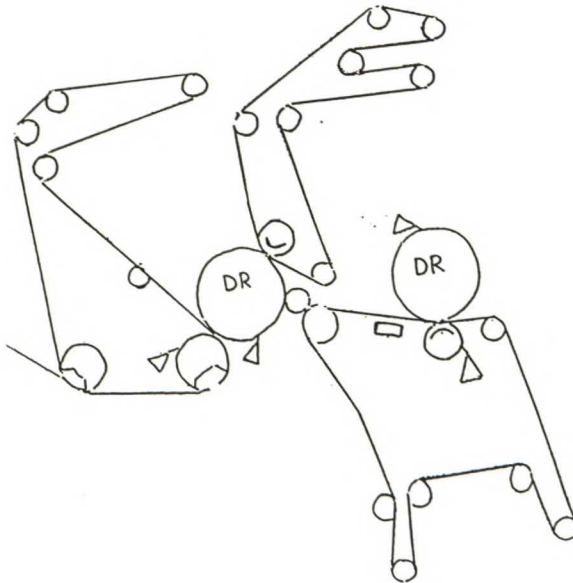
Viirasosa on Valmetin Speed-Former HHS. Kuva 20 esittää vedenpoiston jakautumista eri vedenpoistoelinten välillä. Suihku ohjataan formeri- ja rintatelan muodostamaan kitaan. Yläviiran puolella oleva formeritela aiheuttaa jatkuvan vedenpoiston. Formeritelan jälkeen vedenpoisto jatkuu jaksoittaisena alaviiran puolella listakengän avulla (kolme kammiota) sekä yläviiran puolella kahden deflektorin avulla. Rainan on tultava listakengälle sopivassa kuivainepitoisuudessa muuten seurauksena voi olla kuraamista (liian märkä raina) tai matoamista eli siirtymää (liian kuiva raina). Formeritelan ja listakengän imujen suuruudella sekä deflektorien erilaisilla ajotavoilla voidaan myös voimakkaasti vaikuttaa muodostuvan paperin toispuoleisuuteen.

Vedenpoisto jatkuu listakengän jälkeen vielä imulaatikoilla ja imutelalla. Paperin formaatioon ei kuitenkaan voida enään suuresti vaikuttaa.



Kuva 20. Vedenpoiston jakautuminen Summan PK 2:n viiraosalla.

Viiraosan jälkeisellä puristinosalla on kolme nippiä. Keskitela sekä kolmannen puristimen ylätela ovat Dynarock-pinnotteisia teloja. Ennen kolmatta puristinta on press-nip laatikko. Puristinosa on kuvassa 21.



Kuva 21. Summan PK 2:n puristinosa.

Kuivatusosa on jaettu neljään kuivatusryhmään. Ennen viimeistä kuivatusryhmää on välikalanteri, jota voidaan joko kuormittaa, ajaa kevennyksellä tai täysin auki. Välikalanterin alempi tela on bombeerattava CC-tela.

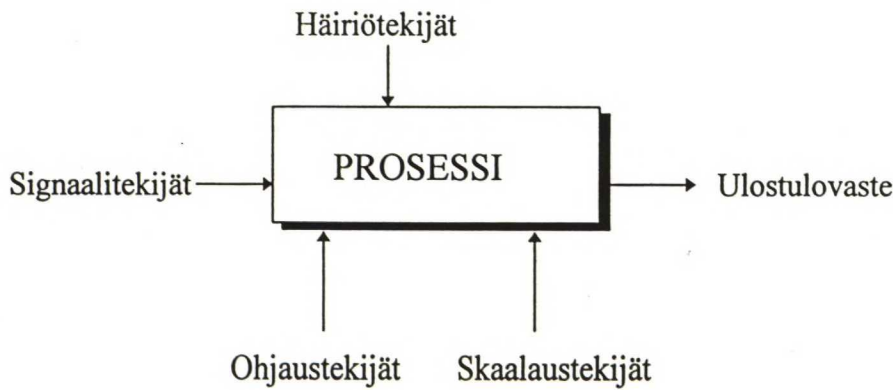
Konekalanteri voidaan ajaa joko 6- tai 2-telaisena. Kalanteria 6-telaisena ajettaessa on mahdollista käyttää höyrylaatikkoa paperin sileyden parantamiseksi. Telapakan alimmainen tela on bombeerattava Küsters-tela. Toinen ja neljäs tela alhaalta lukien ovat myös bombeerattavia CC-teloja, joita voidaan joko kuormittaa tai keventää. Kaksi telaa on ns. termoteloja, joiden vesikierron lämpötilaa voidaan säätää.

Paperikoneen maksimi trimmi on 6720 mm ja maksimi nopeus 1050 m/min. Koneella voidaan ajaa neliömassaalueella $45\text{--}70\text{g/m}^2$ ja vuosituotanto on noin 150 000 tonnia. Kone on kuivatusrajoitteinen yli 55g/m^2 neliöpainoisilla papereilla, joten varsinkin paksumpia papereita ajettaessa nopeutta joudutaan laskemaan huomattavasti (esim. 60 g/m^2 nopeus on noin 800 m /min).

5.2 Käytetty koemenetelmä

Koemenetelmäksi valittiin tehdaskokeissa usein käytetty Taguchi-menetelmä. Menetelmän on kehittänyt japanilainen tohtori Genichi Taguchi 1950-luvulla /57/. Hän yhdisti kehittämässään menetelmässä insinööritietämyksen ja tilastollisen analysoinnin.

Taguchi jakaa prosessin suureet viiteen eri ryhmään (kuva 22).



Kuva 22. Taguchin mukainen prosessisuureiden jaottelu /58/.

- Signaalitekijää muutetaan tavoitteena saada aikaan tietty prosessin ulostulo (esim. kalanterin kuorma).
- Ohjaustekijöillä on useita tasoja, joita asettelemalla prosessia voidaan optimoida (esim. massasuhteet).
- Skaalaustekijä on kiinteä säätöarvo (esim. neliömassa).
- Häiriötekijöitä ei voida tai haluta hallita ja ne vaihtelevat tuotannon eri olosuhteiden mukana (esim. raaka-ainevaihtelut).
- Ulostulovastetta pyritään optimoimaan (esim. paperin karheus).

Ulostulovaste voidaan edelleen jakaa viiteen erilaiseen tyyppiin /58/:

1. Ominaisarvo on paras. Esimerkiksi kosteus.
2. Pienin on paras (zero). Esimerkiksi formaatio.
3. Suurin on paras. Esimerkiksi opasiteetti.
4. Attribuutti. Esimerkiksi tuotteen ulkonäkö l. ei numeerinen arvo.
5. Dynaaminen. Ulostulovaste riippuu dynaamisesti signaalitekijästä.

Taguchi-menetelmän ydinasia on tarkalla parametrisuunnittelulla löytää ne prosessiin vaikuttavat tekijät, joilla on suurin vaikutus haluttuun ulostulovasteeseen (esim. huokoisuuteen). Tämän jälkeen on valittava sopiva matriisi kokeita varten sekä haettava jäljelle jääneille, suurimman vaikutuksen omaaville tekijöille (hallintasuureet) tuotannollisesti järkevät tasot. Tässä kohdin

insinööritietämyksen vaikutus Taguchi-menetelmässä on voimakkaimillaan. Valitun matriisin mukaisten koepisteiden ajojen jälkeen tulokset analysoidaan sekä valitaan hallintatekijöiden optimitasot, jotta haluttu ulostulovasteen arvo saavutetaan. Lopuksi suoritettavan tarkistuskokeen avulla on mahdollista varmistaa tulosten luotettavuutta. /58,59/

Taguchi-menetelmä hyödyntää matematiikasta tuttuja ortogonaalimatriiseja, joiden avulla voidaan vähentää tarvittavien kokeiden määrää murto-osaan verrattuna yksittäiskokein suoritettuun tutkimukseen /57/. Esimerkiksi L8 matriisissa testataan seitsemän muuttujan vaikutusta kahdella eri tasolla. Tällöin tarvittavien kokeiden määrä on kahdeksan verrattuna yksittäiskokein suoritettuna 128:n. Ero Taguchi-menetelmän hyväksi lisääntyy mitä suurempia matriiseja käytetään. Lisäksi menetelmän etuja ovat kokeiden helppo toistettavuus sekä useampia tekijöitä yhtäaikaisesti tutkittaessa prosessin optimointimahdollisuus (vrt. yksittäiskokeet). Menetelmän haittoina ovat mahdolliset tuloksia vääristävät keskinäisvaikutukset ja yksittäisten tulosten vaikea tulkinta, minkä vuoksi kaikki koepisteet olisi voitava ajaa melko lyhyen ajan sisällä. Haittana voidaan pitää myös sitä, että hallintatekijöiden tasot on voitava asettaa riittävän etäälle toisistaan. Tämä voi aiheuttaa tarkat laaturajat omaavien tuotteiden kohdalla suuria hylkymääriä, eikä menetelmän käyttö siten ole aina taloudellisesti järkevää.

5.3 Kokeiden suunnittelu

Kirjallisuusanalyysin sekä käyttöinsinöörien kanssa käytyjen palaverien avulla haettiin Summan PK 2:lta hallintasuureita, joiden avulla parhaiten voitaisiin vaikuttaa paperin karheus- ja huokoisuustekijöihin. Tältä pohjalta laadittiin PK 2:lle prosessianalyysitaulukko (*taulukko 3*).

Taulukko 3. Summan paperikone kahden prosessionalyysitaulukko.

	MITATTAVA TILASUURE										
	Karheus kasvaa	Huokostilavuus kasvaa	Enemmän suuria huokosia	Pintaenergian poolisuus kasvaa	Pihkan määrä paperissa kasvaa	Sähköstaattisuus kasvaa	Pintalujuus kasvaa	Vetolujuus kasvaa	Repäisylujuus kasvaa	Bulkki kasvaa	Formaatio paranee
HALLINTASUUREET											
Sellun määrä kasvaa	+	+	+	(+)	-	-	++	++	++	-	-
Sellun CSF alence	-	-	-	(+)			+	+/-	+/-	-	
TMP:n määrä kasvaa	+	+	+					+	++	+	-
TMP:n CSF kasvaa	+	+	+	(-)		-	-	-	+/-	+	-
Uusiomassan osuus kasvaa	-	-	-		-	-	+/-	+/-	+/-	-	+
Hiokkeen CSF kasvaa	+	+	+	(-)		-	-	-	+/-	+	-
Märkäpuristuksen linjapaine kasvaa	-	-	-				+	+	-	-	(-)
Konekalanterin linjapaine kasvaa	-	-	-					-	-	-	
Välikalanterin linjapaine kasvaa	-	-	-					-	-	-	
Formeritelan imu kasvaa		-	-							-	+
Listakengän imu kasvaa		-	-							-	-
Täikkelyksen määrä lisääntyy	-	-	-	(+)	+	-	++	+	-	(-)	(-)
Kaoliinin määrä lisääntyy	-	-	-	+			-	-	(-)	-	+

Vaikutus suurta ++ tai --
 Vaikutus keskisuurta + tai -
 Vaikutus vähäistä (+) tai (-)

Taguchi-menetelmän matriisiksi valittiin L8-matriisi. Valitut hallintasuureet ja niiden tasot on esitetty taulukossa 4. Tasot pyrittiin valitsemaan lähes poikkeuksetta mahdollisimman kauas toisistaan.

Taulukko 4. Taguchi-matriisin hallintasuureet ja niiden tasot.

Hallintasuure	Taso 1	Taso 2
TMP:n määrä	25%	45%
TMP:n CSF	85 ml	110 ml
Hiokkeen CSF	60 ml	85 ml
Kalanterien ajotapa	2-tela + välikal.	6-tela
Listakengän imut	1/2/2 kPa	1/6/6 kPa
Formerin imu	5 kPa	11 kPa
Tuhka (kaoliini)	0%	5%

L8-matriisiin päädyttiin sen takia, että kyseisen paperin ajosykli on kuukausi ja silloinkin sitä ajetaan kerrallaan vain noin vuorokausi. Siten kerran kuukaudessa oli mahdollista ajaa vain neljä koepistettä (massamuutosten viiveet useita tunteja). Lisäksi paperin tuotantoa oltiin siirtämässä pois Summasta, joten laajempi koesuunnitelma olisi aiheuttanut aikatauluongelman. L8-matriisiin saatiin kuitenkin mahtumaan tärkeimmät hallintasuureet. Matriisi ja sen mukaiset koepisteet ovat *liitteessä 1*.

5.4 Kokeiden suoritus

Matriisin mukaiset kahdeksan koepistettä ajettiin kahtena eri kertana. Jokaista koepistettä pyrittiin ajamaan samoilla asetuksilla aina yksi konerulla, jotta koneella tehdyt muutokset tasaantuisivat. Massamuutosten kohdalla viive oli neljä tuntia, mikä hidasti koepisteiden ajoa ja mahdollisti vain neljän koepisteen ajon kerrallaan. Koepisteiden toteutuneet ajo-olosuhteet on *liitteessä 2*.

Annostelureseptin hallintasuureiden asettelu onnistui hyvin. Kuumahierteen ja kaoliinin suunnitellut tasot saavutettiin onnistuneesti ja tarkasti.

Kuumahierteen ja hiokkeen jauhautumisasteet sensijaan aiheuttivat ongelmia. Ylemmät tasot oli valittu viimeaikaisten toteutuneiden keskiarvoisten varastotornitasojen mukaan. Siten ne oli tarkoitus saavuttaa ilman jälkijauhatusta. Alemmat tasot olisi saavutettu jälkijauhien kovilla kuormituksilla. Massanvalmistuksessa esiintyneiden ongelmien takia suunnitelluille tasoille ei kuitenkaan ensimmäisellä kertaa päästy. Tasoihin tuli kuitenkin sen verran eroja, että toteutuneet tasot valittiin jälkimmäisen ajokerran uusiksi tasoiksi.

Siten hallintasuuretasojen muutos ei päässyt varsinaisesti häiritsemään koeajoja. Kuumahierteen kohdalla uudet tasot olivat suunniteltuja alempia ja hiokkeen kohdalla puolestaan korkeampia. Jälkimmäisellä kerralla kuumahierteen kohdalla uusiin tasoihin päästiin hyvin, mutta hiokkeen jälkijauhimen mekaanisten ongelmien takia hiokkeen alempi taso jäi liian korkeaksi.

Viiraosalla formerin imutasot saavutettiin helposti, vaikka ne oli valittu kauas toisistaan. Listakengän imuja (kolme eri lohkoa) jouduttiin säätämään käsiventtiilein, mikä tuotti ongelmia. Varsinkin korkeampia tasoja 1/6/6 kPa ei saavutettu tasaisesti halutulla tavalla.

Kalanterin ajotavan vaihdot onnistuivat melko hyvin. Ensimmäistä 2-tela-pistettä ajettaessa välikalanteria ei kuitenkaan onnistuttu kuormittamaan, minkä vuoksi kaikkien 2-tela-pisteiden bulkki- ja karheusarvot jäivät liian korkealle.

5.5 Tulokset

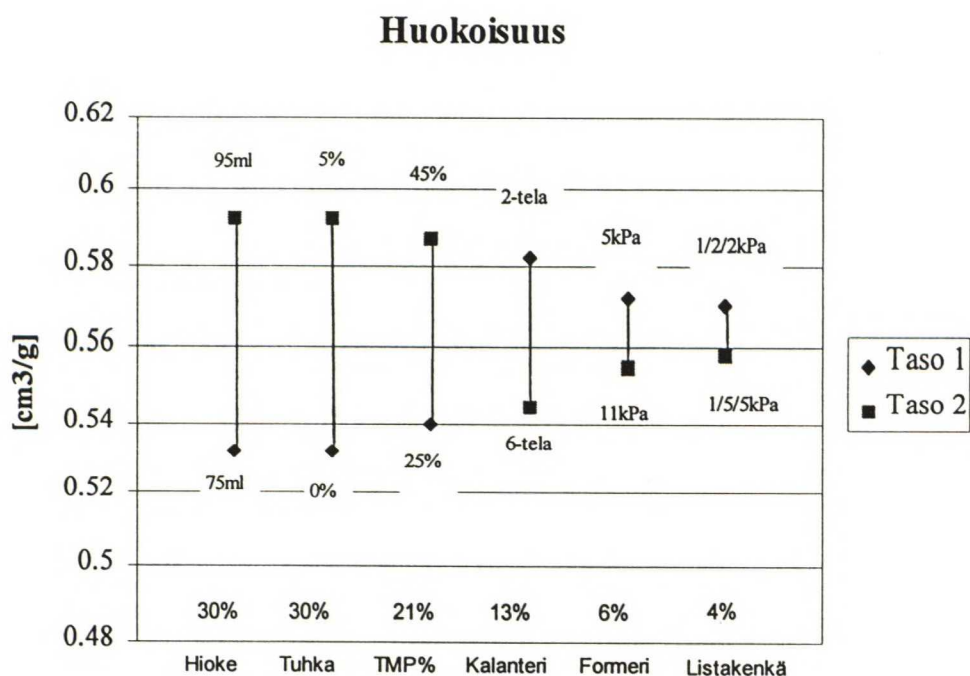
Koepisteistä mitattiin paperin kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, jotka on esitetty *liitteessä 3*. *Liitteessä 4* on lisäksi esitetty käytetyt mittaussandardit. Taguchi-pisteiden osalta tuloksia käsiteltiin Design of Experiments-ohjelmalla, joka hyödyntää varianssianalyysia. Hallintasuureita esittäviin tuloksuviin on liitetty suureiden selitysprosentit sekä virhe. Selitysprosentti kertoo kuinka paljon tietty hallintasuure on vaikuttanut mitatun paperin tilasuureen muutoksiin. Virheprosentti kertoo virheen osuuden muutoksista. Virhe selittyy valittujen hallintasuureiden ulkopuolisilla tekijöillä, kuten esimerkiksi raaka-ainevaihteluilla ja kudosten kulumisilla. Pieni e-termin arvo kertoo, että kyseinen paperin tilasuure on hyvin hallittavissa valituilla hallintasuureilla.

Tulokset on käsitelty erikseen huokoisuuden, karheuden, formaation, uuteainepitoisuuden, sähköstaattisuuden ja pintaenergioiden kohdalta. Muiden

tilasuureiden kohdalla tulokset on esitelty kappaleen 5.7 prosessitaulukossa. Kuvissa esiintyvät hallintasuuretasot ovat toteutuneita tasoja.

5.5.1 Huokoisuus

Paperin huokoisuutta mitattiin normaalein tehdasmittauksin (Bendtsen ilmanläpäisy ja absorptiotestit) sekä harvinaisemmalla elohopeaporosimetri-mittauksella. Jälkimmäistä menetelmää voidaan pitää tarkempana todellisen huokostilavuuden mittarina, joten sen tulokset on esitetty *kuvassa 23*.



Kuva 23. Huokoisuuden hallintasuureet.

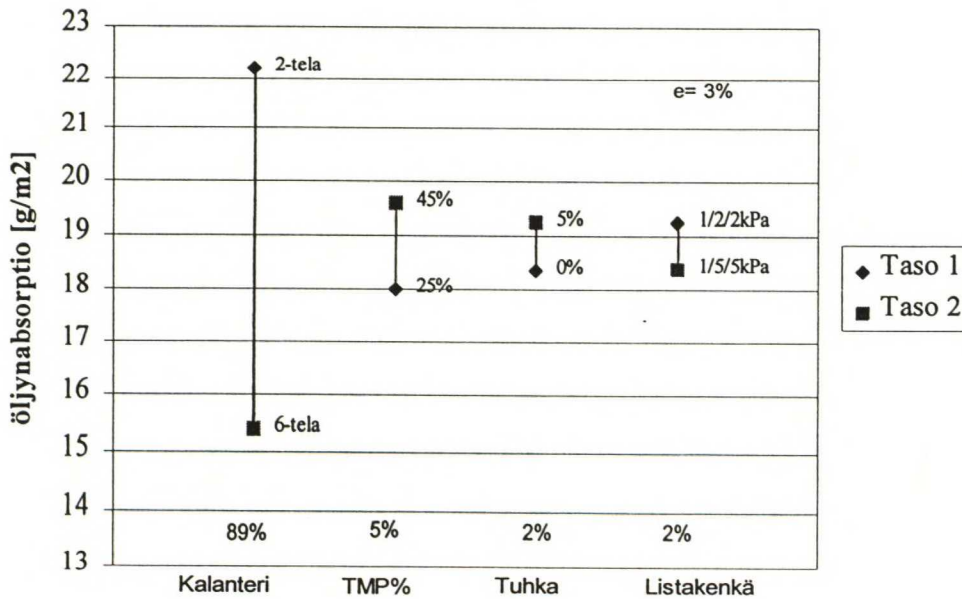
Kuvasta nähdään, että varsinaiseen paperin huokoisuuteen voidaan vaikuttaa parhaiten massareseptiä ja massojen jauhatustasoja muuttamalla. Kuumahierteen suurempi osuus sekä massojen freenestasojen nosto lisäävät huokoisuutta. Kaoliinin annostelun lisääminen nosti myös huokoisuutta. Tämä selittynee sen hioketta huonommalla pakkautumiskyvyllä, jolloin hiokkeen korvaaminen kaoliinilla nostaa huokoisuutta /60/. Kovemmalla kalanteroinnilla on

huokoisuutta alentava vaikutus. Viiraosan imujen vaikutus oli näiden kokeiden mukaan vähäinen. Löydöksiä tukee Valmetin julkistamat tiedot /61/, joiden mukaan Speed Formereilla valmistetut paperit ovat rainanmuodostusmenetelmästä johtuen kapealla huokoisuusalueella ja suuria huokoisuusmuutoksia muuten, kuin massoja muuttamalla on vaikea saada aikaan.

Bendtsen ilmanläpäisyllä mitattua huokoisuutta lisäsivät eniten 2-telakanterointi, TMP:n freenestason ja määrän nosto sekä alhainen listakengän imu.

Paperin huokoisuutta mitattiin myös öljy- ja vesiabsorption avulla. Paperin alapuolen öljynabsorptioon vaikuttavat hallintasuureet on esitelty kuvassa 24.

Öljynabsorptio ap



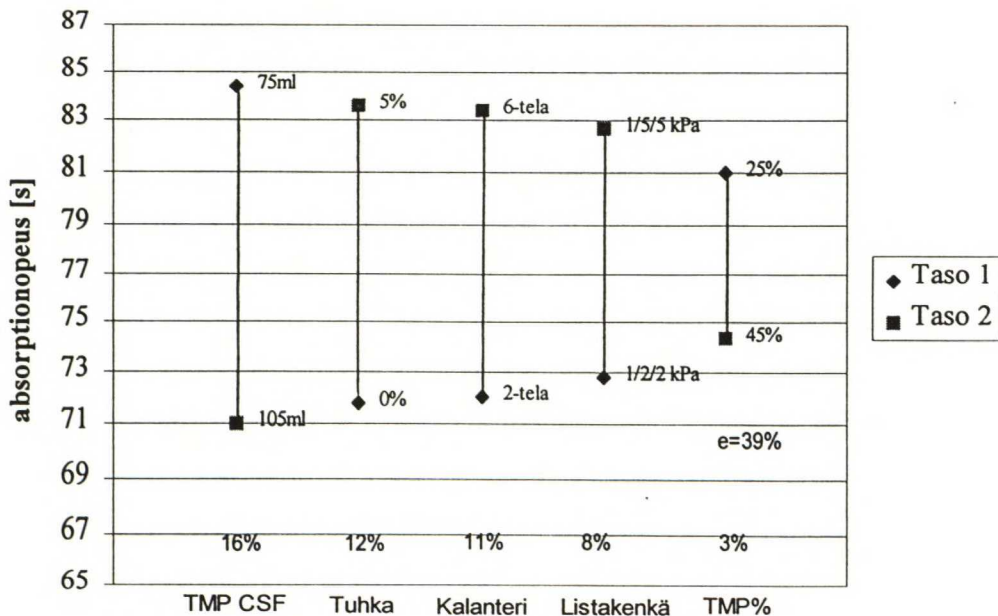
Kuva 24. Paperin alapuolen öljynabsorption hallintasuureet.

Tulosten mukaan eniten alapuolen öljynabsorptioon vaikuttivat kalanterointitapa ja kuumahierteen osuus. 2-tela kalanterointi sekä TMP:n osuuden nosto lisäsivät

öljynabsorptiota. Tuhkan vaikutus voidaan selittää sen huokoisuutta sekä öljyn affiniteettiä lisäävällä vaikutuksella /30/.

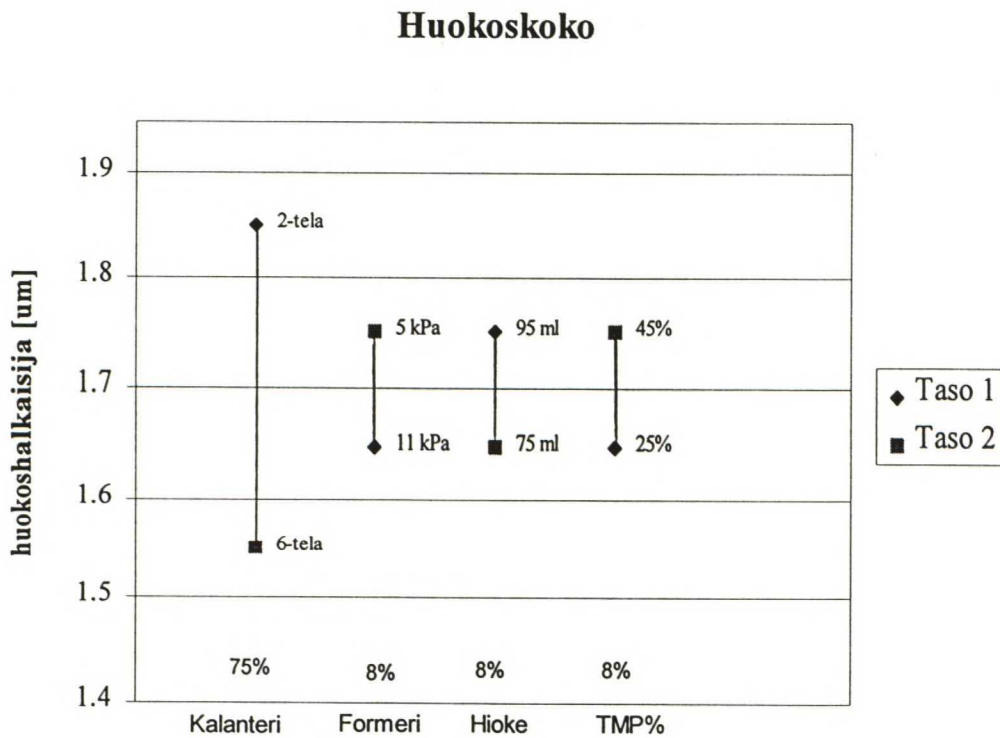
Paperin alapuolen vesiabsorptioon vaikuttivat nopeuttavasti kuumahierteen alhainen jauhautumisaste, tuhkan poistuminen, 2-tela-kalanterointi ja listakengän alhaiset imut (kuva 25). Kuumahierteen suurempi osuus nopeutti myös vesiabsorptiota. Paperin pinnasta tulee karheampi ja vähemmän tiivis, jolloin vesi penetroituu paperiin helpommin. Tuhkalla on ilmeisesti myös pintakemiallinen vaikutus vesiabsorptioon /30/. Vesiabsorption hallintasuureiden kohdalla virheen osuus oli melko suuri, 39%. Siten tulosten luotettavuuteen tulee suhtautua kriittisesti. Valittujen hallintasuureiden ulkopuolella on tekijöitä, joiden vaikutus vesiabsorptioon on suuri.

Vedenabsorptio ap



Kuva 25. Paperin alapuolen vedenabsorption hallintasuureet.

Elohopeaporosimetrimittauksilla tutkittiin myös paperin huokoskokojakaumaa. Bristow ja Bergenbladin tutkimuksen /44/ mukaan paperia kuvaavaksi huokoskooksi otettiin huokoskoko 75%:n kohdalta kumulatiivista huokostilavuutta. Siten huokoskokotaso, jolle on päästy, kun 75% paperin huokostilavuudesta on saavutettu tuli paperia kuvaavaksi huokoskooksi. Hallintasuureet on esitetty *kuvassa 26*.



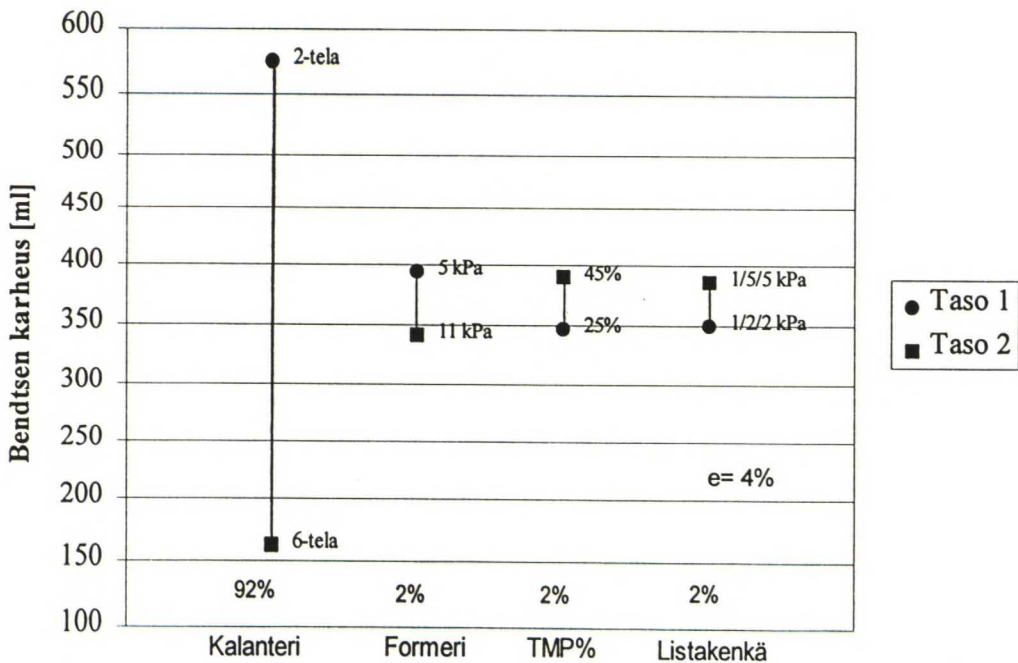
Kuva 26. Dominoivan huokoskoon hallintasuureet.

Tulosten perusteella eniten huokoskokoon vaikutti kalanterointitapa. Kahden nipin välistä kalanterointi verrattuna viiden nipin kalanterointiin nosti huokoskokoa eniten. Kuumahierteen osuuden nosto ja hiokkeen jauhautumisasteen lasku kasvattivat myös huokoskokoa; massojen hienoaineen osuus laski. Korkeampi formerin imu pienensi huokoskokoa tiivistämällä rainaa.

5.5.2 Karheus

Alapuolen karheuden tehokkain hallintasuure oli kalanterointitapa (kuva 27). Kalanteroinnin lisäksi selviä hallintasuureita karheudelle löydettiin ainoastaan kuumahierteen osuudesta sekä formerin ja listakengän imuista. TMP:n osuuden nosto vähentää hienoainesta paperissa ja tekee siitä karheamman. Listakengän ja formerin imujen vaikutus on selitettävissä niiden vaikutuksella paperin hienoaineretentioon. Listakengän imujen noston aiheuttamat paine- ja imupulssit saavat aikaan huonomman hienoaineretention tehden paperista karheamman. Vaikutus ei ole kuitenkaan kovin suuri johtuen Speed Formerille tyypillisestä rainarakenteesta, jossa rainan pinnat ovat jo melko tiivistyneet ennen listakengälle tuloa /61,62/.

Karheus ap



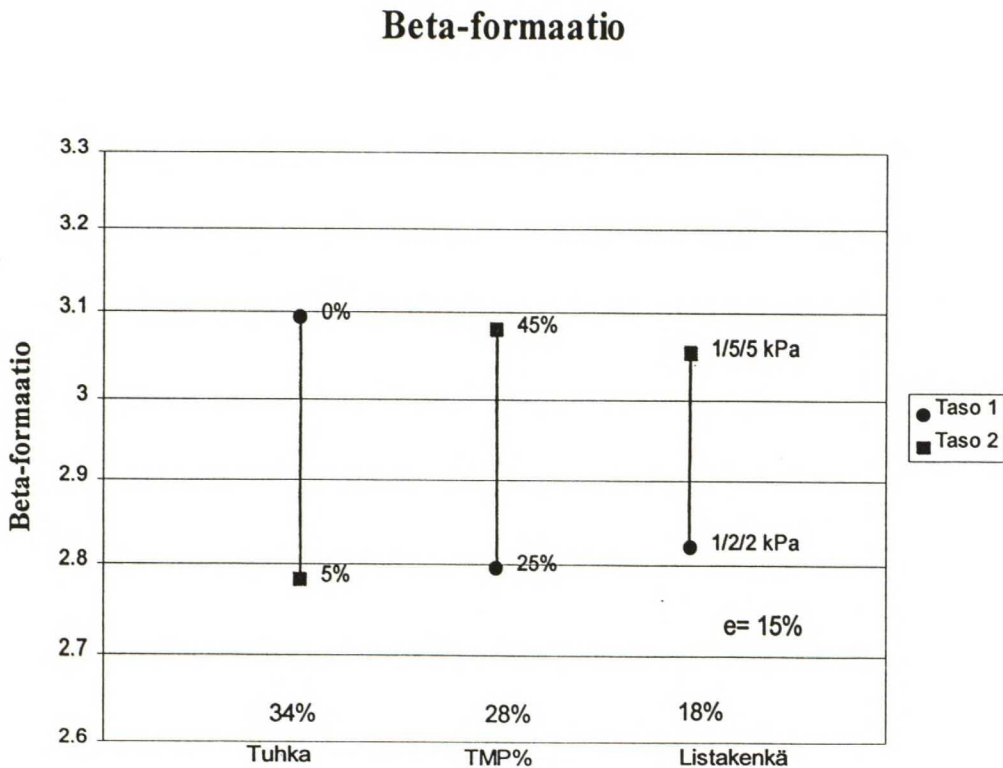
Kuva 27. Paperin alapuolen karheuden hallintasuureet.

Paperin yläpuolen karheuden hallintasuureet olivat paljolti samoja kuin alapuolenkin. Vaikutusten voimakkuudessa oli kuitenkin eroja. Esimerkiksi

yläpuolen karheus nousi listakengän imujen noston seurauksena enemmän yläpuolella paperia. Aikaisemmissa Speed Formereilla tehdyissä koeajoissa on todettu alkuvedenpoiston (formerin imu) vähentämisellä, deflektorien kevennyksellä ja listakengän imujen nostolla olevan toispuoleisuutta vähentävä vaikutus /63/. Siten yläpuolen karheuden lisääntyminen alapuolta enemmän listakengän imuja nostamalla voi johtua toispuoleisuuden vähentymisestä eli hienoaineen pienemmästä kasautumisesta yläpuolelle paperia.

5.5.3 Formaatio

Formaation hallintasuureiksi saatiin kaoliinin annostelu, kuumahierteen osuus ja listakengän imut (kuva 28).



Kuva 28. Formaation hallintasuureet.

Kaoliinin lisäys ja TMP:n vähentäminen paransivat molemmat formaatiota melko huomattavasti. Tulos on yhtenäinen kirjallisuuden /64/ kanssa; pitkäkuitujakeen

osuuden pienentäminen parantaa formaatiota. Koeajoissa käytetyt alemmat listakengän imujen tasot paransivat formaatiota. Liian korkeat listakengän imut voivat Speed Formereilla hajoittaa jo muodostunutta rainaa ja heikentää formaatiota.

Haetuilla hallintasuureilla pystytään hallitsemaan paperin formaatiota hyvin. Viiraosan kohdalta aikaisemmat tutkimukset /63/ ovat kuitenkin osoittaneet formaatiolle löytyvän optimitason huuliaukon, listakengän imujen, formerin imun ja viira-suihkusuhteen funktiona. Tätä tukee koeajojen aikana tehdyt havainnot.

5.5.4 Uuteainepitoisuus, pintaenergiat ja sähköstaattisuus

Tulosten analysointi osoitti uuteainepitoisuuden hallintasuureiksi kuumahierteen ja kaoliinin annostelut. Molempien annostelun lisääminen nosti uuteainepitoisuutta paperissa. Tarkempi tehdasprosessien tarkastelu osoittikin tähän selvän syyn. Kuumahierteen valmistusprosessi liuottaa uuteaineita pois kuiduista, joten sakeutuksen jälkeen mitattuna kuumahierteen uuteainepitoisuus on hiokkeen arvoja matalampi (todettu mittauksin). Summassa paperikone kahdelle tulevan kuumahierteen hakuvetenä käytetään kuitenkin PK 3:n kiertovesiä, joiden uuteainepitoisuus on korkeampi verrattuna PK 2:n vesiin. Siten PK 2:lle kuumahierteen mukana tuleva uuteainepitoisuus nousee yli hiokkeen uuteainepitoisuuden. Paperikone kahdella uuteaineet retentoituvat tärkkelyksen käytön ansiosta tehokkaasti paperiin. Hienojakoisen kaoliinin annostelu vielä lisää retentoituvan uuteaineen määrää. Puussa tapahtuvien vuosittaisten- ja kasvupaikkavaihteluiden lisäksi uuteainepitoisuus PK 2:lla on siten voimakkaasti riippuvainen PK 3:n vesien uuteainepitoisuudesta. Tällä hetkellä paras tapa alentaa uuteainepitoisuuksia PK 2:n paperissa on lisätä pihkan retentiota PK 3:n paperiin. Kiertovesien korkea uuteainepitoisuus paperikone kolmella rajoittaa kuumahierteen käyttöä PK 2:lla paperien tuotannossa, joilla uuteainepitoisuus on kriittinen tekijä.

Sähköstaattisuuteen ei löydetty hallintasuureita. Esimerkiksi yläpuolella paperia olivat kaikkien mitattujen pisteiden arvot hyvin lähekkäin, 772-804 V. Tämän lisäksi hajonta oli melko suurta, parhaimmillaan ± 23 V. Kun kilpailijoilta on mitattu 710 V arvoja, todettiin, ettei valituilla hallintasuureilla pystytäkään vaikuttamaan paperin sähköstaattisuuteen.

Myös paperin pintaenergioiden kohdalla ei koepisteiden välille tullut suuria eroja. Kaikki arvot olivat välillä 46.2-51.1 mJ/m², mikä on erittäin pieni väli. Kaikki näytteet olivat yllättäen myös lähes täysin hydrofobisia. FibroDat-laitteella mitatut veden kosketuskulmat olivat yli sata astetta. Vielä syksyllä 1994 paperista mitatut veden kosketuskulmat olivat selkeästi alle sata astetta, noin 70°. Siten prosessissa on tapahtunut selkeä muutos, joka on saanut aikaan paperin muuttumisen hydrofobiseksi. Muutokselle ei löydetty mitään selkeää, esimerkiksi uuden kemikaalin aiheuttamaa syytä. Mahdollinen hydrofobisuuden aiheuttaja voi olla DKM-uutteessa näkymätön puun uuteaineiden nousu.

5.6 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tuloksissa virheen osuutta kuvaa e-termi, joka kertoo valittujen hallintasuureiden ulkopuolisten tekijöiden vaikutuksen tuloksiin. Paperinvalmistusprosessissa näitä mahdollisia häiriötekijöitä on huomattavan paljon, esimerkiksi kudosten kuluminen, raaka-ainevaihtelut ja kiertovesien kemialliset muutokset. Näiden ulkopuolisten tekijöiden lisäksi kaikkien hallintasuureiden asettelun kohdalla ei aina onnistuttu tarkalla tavalla, mistä seuraa lisävirhettä tuloksiin. Mitattujen paperin tilasuureiden e-termit olivat kaikki kuitenkin melko alhaisia vedenabsorptiota lukuunottamatta. Siten tuloksia voitaneen pitää melko tarkkoina.

Muutamien mitattujen tilasuureiden kohdalla kalanterointitavan vaikutus oli niin dominoiva, että loppujen hallintasuureiden vaikutus jäi vain muutamaa prosenttiin. Siten näiden tilasuureiden kohdalla tuloksia tulee tarkastella kriittisesti.

Tulosten luotettavuus tarkistettiin vielä varmistuskokeen avulla, joka ajettiin aivan työn lopussa. Tällöin hallintasuureet aseteltiin tulosten mukaisesti siten, että paperin halutut ominaisuudet tarttumisilmiön kannalta saavutettaisiin. Tulokset varmistuskokeesta on esitetty kappaleessa 7.2.

5.7 Prosessianalyysi tulosten perusteella

Koeajojen tulosten perusteella laadittiin Summan PK 2:lle prosessianalyysitaulukko, jonka avulla on mahdollista pyrkiä osittain optimoimaan jatkolomakkeen valmistusprosessia.

Taulukko 5. Summan PK 2:n hallintasuuretaulukko. Numerot taulukossa tarkoittavat paperin tilasuureen muutoksen voimakkuutta hallintasuureen ollessa numeron osoittamalla tasolla. Numeroiden lukumäärä kertoo muutoksen voimakkuuden. Esimerkiksi neljä kakkosta tarkoittaa hallintasuureen tason kaksi vaikuttavan erittäin voimakkaasti kyseisen tilasuureen suuntaan.

	TMP:n osuus	TMP CSF	Hioke CSF	Kalanteri ajotapa	Listakengän imut	Formerin imut	Tuhka % (kaoliini)	Virhe
Taso 1	25%	75 ml	75 ml	2 nippiä	1/2/2 kPa	5 kPa	0%	
Taso 2	45%	105 ml	95 ml	5 nippiä	1/5/5kPa	11 kPa	5%	
Karheus kasvaa ap	2			1111	2	1	1	4%
Karheus kasvaa yp	22			1111	22	1	1	5%
Ilmanläpäisy nousee	2	22		1111	1			4%
Öljynabs kasvaa ap	2			1111	1		2	3%
Öljynabs kasvaa yp	222	2	2	1111			2	10%
Vesiabs kasvaa ap	2	22		11	11		11	39%
Vesiabs kasvaa yp		22		11	11	1	111	33%
Huokostilavuus kasvaa	22		22	11				
Huokoskoko kasvaa	2		2	111		1		
Formaatio paranee	111				11		222	15%
Uuteainepitoisuus kasvaa	22						22	
Repäisylujuus kasvaa ps	22	2	2	11				15%
Vetolujuus kasvaa ks	222						11	27%
Bulkki suurenee	22			1111			1	2%
Jäykkyys suurenee	22		2	1111			1	6%

Kriittisellä hallintasuureella tarkoitetaan suuretta, jota muutettaessa jokin paperin tilasuureista muuttuu edulliseen ja jokin toinen epäedulliseen suuntaan. Kriittisten hallintasuureiden löytämistä pidetään yhtenä prosessianalyysin tärkeimpänä tehtävänä.

Taulukon 5 perusteella varsinaisiksi kriittisiksi hallintasuureiksi tulivat kuumahierteen ja tuhkan osuudet. Niiden kummankin osuuden nosto lisää paperin uuteainepitoisuutta. Positiivisina vaikutuksena TMP:n osuuden nostolla on esimerkiksi huokoisuuden nousu. Tuhkan osuuden nosto sensijaan parantaa formaatiota.

Hallintasuureiden vaikutuksia ei tarkasteltu (mitattu) kaikkien tuoteanalyysin mukaisten tilasuureiden kohdalta, koska mittausarjasta olisi tullut liian laaja. Sen vuoksi kriittisten hallintasuureiden yksiselitteinen erottaminen on vaikeaa. Lisäksi monella tilasuureella on tuoteanalyysin perusteella haettavissa optimikohta, mikä edelleen vaikeuttaa kriittisten hallintasuureiden löytämistä. Tarkastelu onkin tehty lähinnä vain tarttumiseen vaikuttavien tilasuureiden kohdalta.

6. LABORATORIO- JA TEHDASMITTAKAAVAISET PAINATUKSET

Hallintasuureiden haun yhteydessä ajetuista konerullista ajettiin pituusleikkurilla asiakasrullia, joista otettiin näytteet laboratoriopainatuksia ja -mittauksia varten. Tämän lisäksi otettiin jokaisesta koepisteestä yksi asiakasrulla, yhteensä 10 rullaa, jotka painettiin tuotanto-olosuhteissa Turun Sanomat konserniin kuuluvan Polytypos OY:n painossa Turussa.

6.1 Laboratoriopainatukset

Laboratorio-painatukset tehtiin Prufbau-laitteistolla. Värinä käytettiin kaupallista Coates Lorilleux OY:n laserväriä (Unilaser HMP). Näytteet pyrittiin painamaan vakiodensiteettiin 1.4 ja niistä mitattiin set-off 15, 30, 60 ja 120 sekunnin kohdalla sekä rub-off 4, 6 ja 24 tunnin kohdalla. Vastapaperina käytettiin standardipaperin sijasta saman koepisteen näytepaperia, jolloin päästiin simuloimaan oikeaa tilannetta mahdollisimman tarkoin. Mainittuja poikkeuksia lukuunottamatta painatukset ja mittaukset tehtiin vakiomenetelmän mukaisesti. Painatusten tulokset on esitetty *liitteessä 5* ja korrelaatiomatriisi *liitteessä 6*.

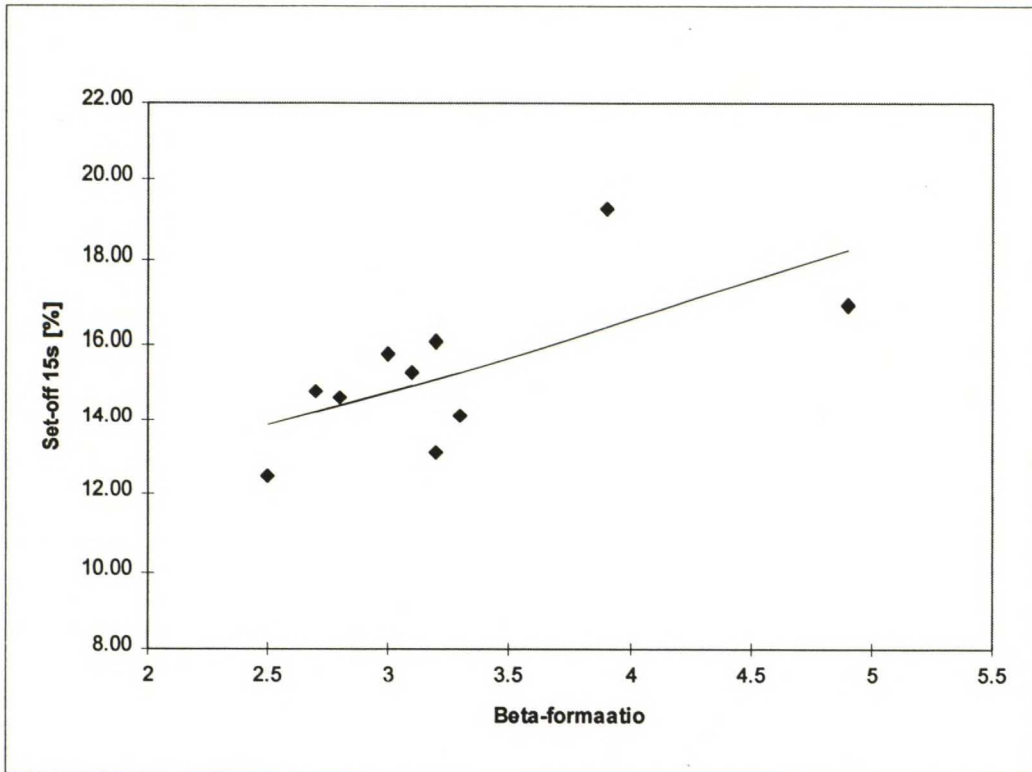
6.1.1 Tulokset

Set-off mittaa vastapainetun pinnan tarttumista vastapaperiin /30/. Siten sen uskottiin kuvaavan lomakkeiden tarttumistodennäköisyyttä toisiinsa heti painatuksen jälkeen sekä myös myöhemmin valmiissa pinoissa. Set-offiin oli tulosten mukaan vaikutusta karheudella, formaatiolla sekä paperin hydrofobisuudella.

Karheuden vaikutus oli hyvin vähäinen ($R = -0.38$). Kirjallisuudessa /44/ karheudelle on annettu enemmän merkitystä. Koepisteet olivat kaikki kuitenkin melko karheita, joten on todennäköistä, että karheuden vaikutus set-offiin ei ole

niin suurta, kuin jos koepisteiden karheusalue olisi ollut matalammalla. Korrelaatio vahvistaa kuitenkin kirjallisuuden /22,44/ mukaista tietoa, että karheamman paperin kontaktipinta-ala on pienempi ja siten tarttuminen on vähäisempää.

Huono beta-formaatio lisäsi set-offia (kuva 29). Tämä johtunee tiiviimpien kohtien huonosta painovärin absorptiosta, mikä jättää painovärin enemmän pinnalle ja tarttuminen vastapaperiin lisääntyy.



Kuva 29. Beta-formaation vaikutus set-offiin ($R=0.65$).

Paperin poolisuus antoi myös hyvän korrelaation set-offille ($R=0.73$); mitä poolittomampi paperi on sitä paremmin pooliton väri absorboituu ja sitä alhaisempi on set-off /42/. Tuloksen tulkinnan tekee kyseenalaiseksi kuitenkin se, että kahta kilpailijapaperia lukuunottamatta kaikki muut pisteet olivat lähes samalla poolisuusalueella.

Huokoisuustekijöiden vaikutus set-offiin oli kirjallisuudesta /44/ poiketen olematon. Todennäköisesti kaikki pisteet olivat rakenteeltaan niin avoimia, ettei

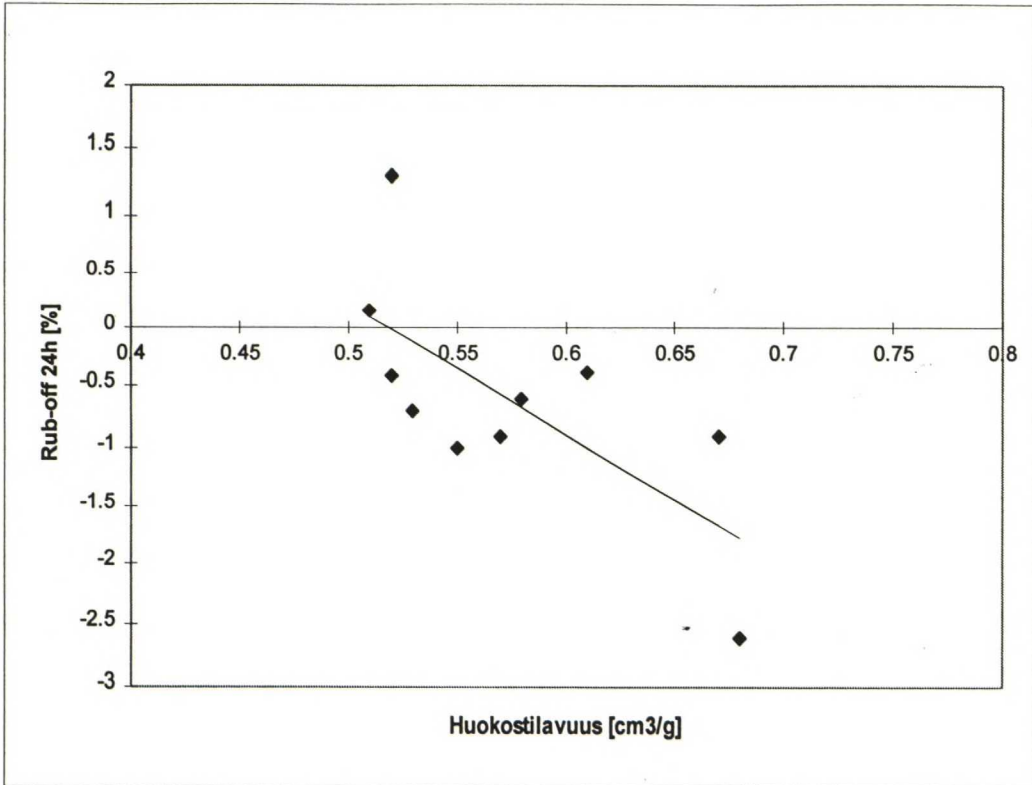
huokoisuuden lisääntymisellä ollut suurta merkitystä set-offiin. Päälystämättöminä ne kaikki absorpoivat värin riittävän nopeasti.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että suuri karheus ja hyvä formaatio ovat pääasialliset tekijät joiden avulla jatkolomakkeen set-offia voidaan vähentää. Huono set-off ei silti varmastikaan ole syynä lomakkeiden tarttumiseen, koska molempien hyvintoimivien kilpailijapaperien set-off arvot olivat esim. 15 sekunnin mittauksen kohdalla selvästi yli kaikkien Summan papereiden. Siten ei näytä mahdolliselta, että huono set-off suoranaisesti johtaisi lomakkeiden tarttumiseen pinossa. Muuttamalla paperin ominaisuuksia kuitenkin siten, että värin tarttuminen vastapaperiin on set-offilla mitattuna mahdollisimman vähäinen, voidaan myöhempääkin tarttumistodennäköisyyttä vähentää /46/. Väri on silloin pidemmälle ja tasaisemmin pentroitunut paperin huokosrakenteeseen.

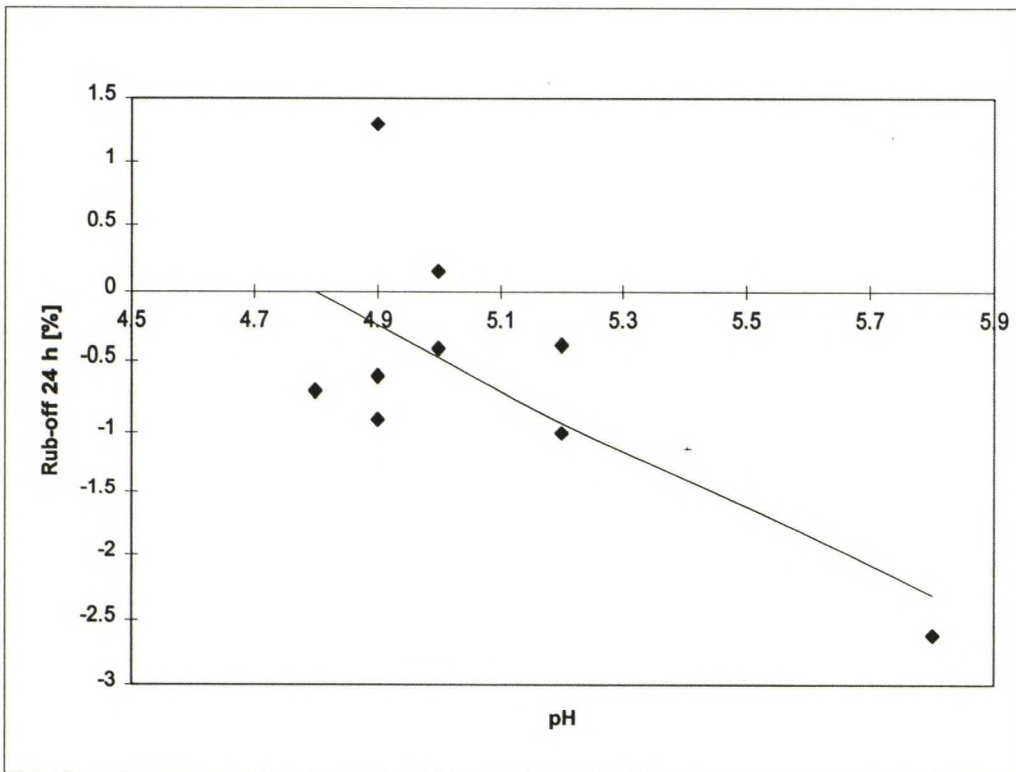
Rub-off mittaa painetun pinnan hankauskestävyyttä /30/. Siten se kuvaa väripinnan kuivumista sekä myös sen lujuutta. Rub-offiin vaikuttivat tulosten mukaan selvimmin karheus, huokoisuus ja pH.

Kirjallisuuden /65/ mukaisesti karheus lisäsi rub-offia (4h rub-off, $R=0.73$). Karheuden vaikutus oli suuri varsinkin 4 ja 6 tunnin mittausten kohdalla, kun väri oli vielä täysin kuivumaton. Myös korkea öljynabsorptio vaikutti tulosten mukaan rub-offia lisäävästi 4 ja 6 tunnin kohdalla, mikä voi johtua suuren huokoisuuden aiheuttamasta sideaineen liiallisesta penetroitumisesta paperiin. Vaikutuksen pitäisi kuitenkin säilyä ja jopa lisääntyä mitä kuivemmaksi värikerros tulee /65/ ja näin ei tapahtunut. Siten on todennäköistä, että tulos aiheutuu suuresta korrelaatiosta öljynabsorption ja karheuden välillä. Korkean öljynabsorption omaavat paperit olivat myös useimmiten erittäin karheita.

24 tunnin kohdalla mitatut rub-offit kuvaavat ehkä parhaiten värin kuivumisen edistymistä. Siihen vaikuttivat eniten huokostilavuus (*kuva 30*) ja pH (*kuva 31*).



Kuva 30. Elohopeaporosimetrillä mitatun huokostilavuuden vaikutus rub-offiin ($R=-0.70$).



Kuva 31. Paperin happamuuden vaikutus rub-offiin ($R=-0.68$).

Suuri huokostilavuus lisää värin kuivumiseen tarvittavan hapen määrää paperin rakenteessa ja siten edistää värin kuivumista. Korkeampi pH nopeuttaa kuivumista edistämällä painovärin hapettumista. Näytteiden pH-arvot olivat yhtä pistettä lukuunottamatta kapealla alueella. Siten tuloksen tilastollinen luotettavuus ei ole hyvä. Tulosta tukee kuitenkin tiedot aikaisemmista tutkimuksista /55,46/.

Rub-off osaltaan kuvaa väripinnan kovettumisen edistymistä, joten tuloksista on tulkittavissa joitakin kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä. Kuivumiselle olisi edullista, että pH olisi korkea ja paperi rakenteeltaan huokoinen. Silloin värin edellytykset hapettua ja kovettua olisivat paremmat. Karheus lisää rub-offia, mutta koska paperit eivät pinoissa pääse juurikaan hiertymään, ei sillä pitäisi olla jatkolomakkeiden kohdalla negatiivista vaikutusta.

6.1.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Näytteet pyrittiin painamaan vakiodensiteettiin, mutta käytännössä tähän oli vaikea päästä. Siten painettujen näytteiden densiteetit vaihtelivat jonkin verran aiheuttaen virhettä tuloksiin. Kaksi näytettä myös hylättiin epäonnistuneen painatuksen takia.

Rinnakkaismäärytyksiä tehtiin ainoastaan kolme, joten painatustulokset olivat hyvin herkkiä esim. kone- ja poikkisuuntaisille vaihteluille paperissa. Näytteenottokohdalla oli siten helposti suuri vaikutus tuloksen vaihteluun.

Monen tilasuureen kohdalla näytejoukko oli hyvin kapea painottuen tietylle alueelle. Tämä johtui siitä, että koepisteille oli vaikea osan tilasuureista kohdalla saada hajontaa paperinvalmistusprosessissa. Siten regressioanalyysin käyttö antoi helposti liian hyvän kuvan vaikutussuhteesta. Näiden tekijöiden kohdalla tuloksia tarkasteltiin kuitenkin voimakkaasti tukeutuen aikaisempiin kirjallisuudessa esiintyneisiin tutkimuksiin. Siten esimerkiksi sähköstaattisuuden ja pinteenergian kohdalla johtopäätöksiä ei vaikutussuhteesta set-offiin tehty vaikka korrelaatiot

olivat merkittäviä. Sitä vastoin pH:n merkityksestä rub-offiin johtopäätös aikaisempiin tutkimuksiin viitaten esitettiin.

6.2 Tehdaspainatukset

Näyterullat painettiin Turussa Polytypos OY:n painossa normaalin tuotantoajon mukaisesti. Poikkeuksena käytettiin normaalia enemmän väriä, jotta tarttuminen saataisiin herkemmin esille. Vuorossa olleen painajan mukaan värin määrä oli huomattavasti normaalia suurempi. Väri oli sama Coates Loreilleux'n kaupallinen väri kuin laboratoriopainatustenkin yhteydessä. Painonopeus oli 340m/min eikä yhdenkään rullan aikana tapahtunut katkoja. Painolevy pestiin säännöllisesti joka toisen rullan jälkeen. Osa koepisteistä, esim. piste 2, oli erittäin herkkä nopeuden muutoksille, mikä aiheutti pinon kaatuamisen. Piste oli selvästi joukon silein. Paksuimmat koepisteet aiheuttivat lisäksi pakkausongelmia, koska muodostuneet pinot olivat liian korkeita. Valmiit lomakkeet pakattiin normaalin käytännön mukaisesti ja kuljetettiin Enso-Gutzeitin Imatran tutkimuskeskukseen varastoitavaksi ja mitattavaksi. Imatralla varastotila vastasi melko normaalia varastoa, noin 15 °C lämmintä. Imatralla värin absorpoitumista paperiin tutkittiin objektiivisin mittauksin sekä myös seurattiin pinojen tarttumista subjektiivisin havainnoin.

6.2.1 Mittausmenetelmä

Mittaustapaa, jolla olisi voitu mitata suoraan painopinnasta kuivumisen edistymistä ei löydetty, eikä onnistuttu kehittämään. Useita painopinnan kuivumisen mittaamiseen käytettyjä menetelmiä (kaasu- ja geelikromatografia sekä differentiaalikolorimetri) kokeiltiin, mutta tuloksetta. Nämä menetelmät sopivat värin kuivumisen seuraamiseen, kun väriä on levitetty tasaiselle pinnalle (esim. päällystetty paperi). Ongelmana päällystämättömällä paperilla on näytteen otto. Väri on penetroitunut paperiin siinä määrin, että näytettä ei pystytä painopinnasta raaputtamaan kuten päällystetyillä papereilla, vaan mukaan irtoaa

kuituainesta häiriten varsinaista analyysia. Heijatusmekaniikoilla yritettiin seurata myös värin varsinaista kuivumista. Se ei kuitenkaan täysin onnistunut, koska imeytyneiden painovärikomponenttien signaalit peittyivät helposti pohjapaperin aiheuttamaan taustaan.

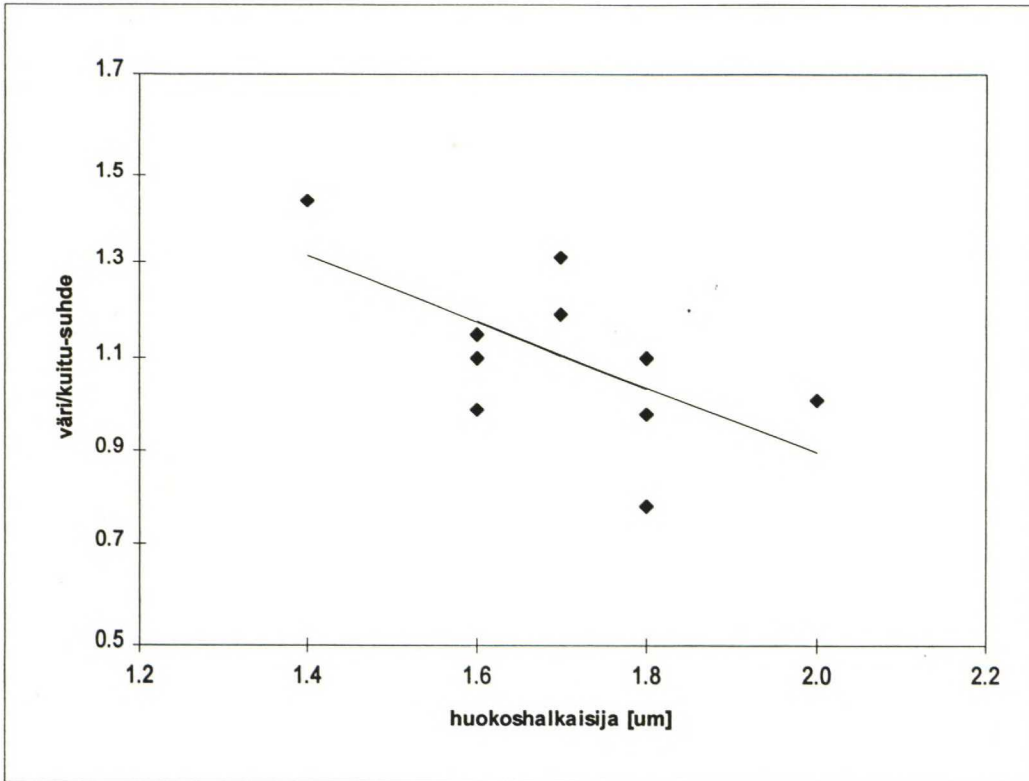
Mittauksessa päädyttiin käyttämään FTIR-analyysiä (Fourier transformation infrared-spectroscopy) eli IR-spektrin ottamista painetusta pinnasta. FTIR-mikroskooppitekniikalla mitattiin heijastusspektrit yksittäisistä rasteripisteistä (10 mittausta per koepiste). Tarkoitus oli selvittää kuinka paljon väriä jää kuidun pintaan. Arviointi tehtiin mittaamalla sideaineen absorbanssi (aaltoluku 1166) ja vastaava kuidusta peräisin oleva absorbanssi (aaltoluku 1276). Laskemalla näiden absorbanssien suhde saatiin arvio värin sideaineen suhteellisesta osuudesta paperin pinnalla. Saatu mittatulos oli siis väri/kuitu- suhteen luku. Mitä pienempi luku oli sitä vähemmän väriä oli paperin pinnalla ja sitä paremmin se oli absorpoitunut paperiin. Käytetty mittalaite oli Perkin Elmer Spectrometer.

6.2.2 Tulokset

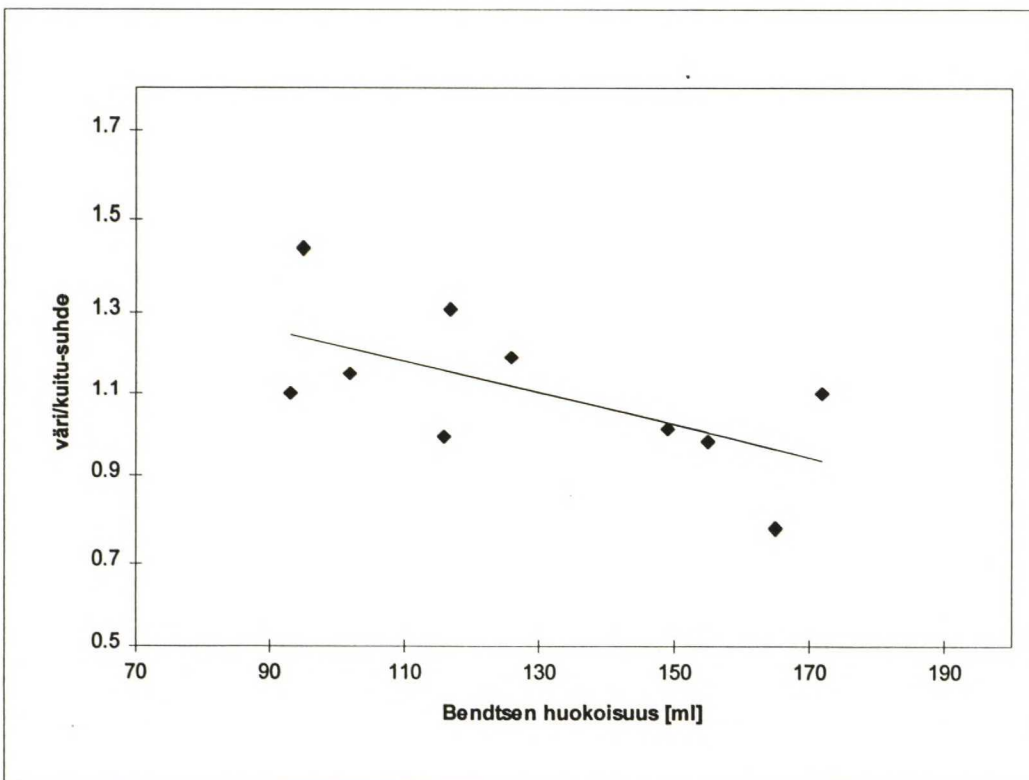
FTIR- mittauksella oli tarkoitus tutkia kuinka hyvin väri oli absorpoitunut paperiin. Suuremman absorption uskottiin merkitsevän pienempää tarttumisriskiä, koska väri ei olisi silloin niin pinnalla. Mittaussarjan tulokset ovat *liitteessä 5* ja korrelaatiomatriisi *liitteessä 7*.

Tulosten mukaan suurempi huokoskokohalkaisija merkitsi parempaa värin absorptiota (*kuva 32*). Suurella huokoskoolla on todettu olevan suuri merkitys värin penetroitumiseen painonipissä /30,36/. Suuri huokoskoko nopeuttaa värin penetraatiota ja siten sen osuus paperin pinnalla jää vähäisemmäksi.

Bendtsen huokoisuudelle saatiin samanlainen yhteys kuin huokoskoollekin. Ilmanläpäisyn nousu vaikutti värin osuuteen paperin pinnalla vähentävästi (*kuva 33*).



Kuva 32. Huokoskoon vaikutus värin osuuteen paperin pinnalla ($R = -0.62$).



Kuva 33. Ilmanläpäisyn vaikutus värin osuuteen paperin pinnalla ($R = -0.63$).

Tuloksista voi päätellä, että tehdaspainatuksessa nippipenetraation osuus on värin kokonaispenetraatiosta ilmeisen suuri. Varsinkin, kun käytetty väri on erittäin viskoottinen eikä sisällä varsinaista liuotinta. Siten kapillaaripenetraation osuuden merkitys jää vähäisemmäksi.

6.2.3 Tulosten luotettavuuden arviointi

Kokeiltua ja käytännössä hyväksi havaittua mittausmenetelmää ei löydetty. Sen vuoksi jouduttiin valitsemaan menetelmä, joka ei ole kovin tarkka. Painopintana oli rasteripinta, joten menetelmän etu oli se, että painopintaa pystyttiin mittaamaan yksittäisen rasteripisteen tarkkuudella. Toisaalta rasteripisteiden vaihtelu oli suurta. Mittauspisteet valittiin kuitenkin mikroskoopin avulla siten, että ne edustivat mahdollisimman hyvin tutkittavaa koepistettä.

6.2.4 Painettujen pinojen subjektiivinen havainnointi

Polytypoksella painettuja pinoja tarkasteltiin myös subjektiivisin havainnoin. Asiakaslaatikossa ollutta lomakepinoa tarkasteltiin sekä pohjalta, että päältä. Kaksi päivää painatuksen jälkeen ei ollut havaittavissa minkäänlaista tarttumaa. Viisi päivää painatuksen jälkeen oli sileimmissä papereissa lievää tarttumaa. Tarttumaa oli kuitenkin vaikea huomata, eikä se varmastikaan olisi aiheuttanut asiakasvalitusta. Tarttumaa esiintyi vain sileämmillä pinoilla. Viisi viikkoa painatuksen jälkeen pinot olivat kaikki jonkinasteisesti tarttuneet, osa hyvinkin voimakkaasti. Koko ajan tarttuminen oli voimakkaampaa pinon pohjalla. Havainnot on *taulukossa 6*.

Taulukko 6. Lomakkeiden tarttuminen painatuksen jälkeen. Subjektiiivinen havainnointi. (-) tarkoittaa, että tarttumista ei havaittu ja (+) tarkoittaa, että tarttumista on esiintynyt. Tarttumisen voimakkuutta kuvaa (+)-merkkien määrä.

Koepiste	Havaintoajankohdan tarttuminen			Karheus	Ilmanläpäisy
	2 päivää	5 päivää	5 viikkoa	(ml/min)	(ml/min)
1	-	-	+++	610	155
2	-	+	++++	112	95
3	-	-	++	310	165
4	-	-	++++	168	102
5	-	-	+++	492	149
6	-	+	++++	157	93
7	-	-	+++	441	172
8	-	+	++++	126	116
9	-	+	++++	187	126
10	-	+	++++	165	117

Havaintojen perusteella voidaan päätellä, että tarttuma kehittyy pinoissa ajan funktiona. Korkea karheus ja suuri huokoisuus hidastavat ja vähentävät tarttumista, mutta eivät kuitenkaan pysty sitä täysin estämään. Siten syy tarttumiseen on jokin yhteinen kaikissa papereissa oleva tai kaikkiin papereihin vaikuttava tekijä. Useampi tekijä voi vaikuttaa myös samanaikaisesti. Yksi tekijä koepisteiden kohdalla on ainakin normaalia huomattavasti suurempi värin käyttö. Muita tekijöitä ovat paperin happamuus, painatusolosuhteet, värin ominaisuudet sekä varastointiolosuhteet (kosteus ja lämpötila).

6.3 Painatustulosten tarkastelu

Painatustulosten perusteella voidaan nostaa esille paperin ominaisuuksia, joita muttamalla lomakkeiden tarttumista voitaisiin estää. Edullisia ominaisuuksia ovat korkea huokoisuus ja suuri huokoskoko. Tätä kuvaavat tehdastasolla hyvin Bendtsen ilmanläpäisy sekä myös öljynabsorptio. Huokoinen paperi lisää värin

penetroitumista, jolloin sen osuus paperin pinnalla vähenee pienentäen todennäköisyyttä tarttumiselle. Huokoinen paperi lisää myös värin hapettumiselle tärkeän hapen kulkeutumista ja määrää. Edullista on myös korkea karheus ja hyvä formaatio: karheus vähentää kontaktipinta-alaa painettujen pintojen välillä ja hyvä formaatio parantaa absorption tasaisuutta. Värin kovettumiselle on tulosten mukaan edullista myös korkea pH.

Koska objektiivista mittausmenetelmää ei värin kuivumiselle, eikä myöskään lomakkeiden tarttumiselle ollut löydettävissä, ei suoranaista mittausdataa eri tekijöiden vaikutuksesta *tarttumiseen* voida esittää. Kirjallisuudesta ja haastatteluista löydettyjen tekijöiden mahdollista osuutta tarttumiseen on kuitenkin seuraavissa kappaleissa tarkasteltu tehtyjen mittausten ja havaintojen perusteella.

6.3.1 Paperin happamuus ja uuteainepitoisuus

Koepisteiden pH:t ovat kapealla alueella ja kaikki melko alhaisia, mikä varmastikin hidastaa värin kuivumista. Kirjallisuudessa /46/ kriittiseksi pH-arvoksi on annettu 4.5, jota pienempi arvo voi täysin estää hapettuen kuivuvan värin kovettumisen. Summan pH-arvot ovat normaalisti alueella 4.6-5.0. Siten muiden värin kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden ollessa epäedullisella alueella voi värin kuivuminen helposti jopa täysin estyä.

Koepisteiden uuteainepitoisuus (DKM-uute) vaihteli välillä 0.48-0.74%, mikä on kilpailijoihin nähden normaali alue (kilpailijat 0.57-0.9). Piste jonka uuteainepitoisuus oli alhaisin tarttui sekin melko voimakkaasti, joten on epätodennäköistä, että syy olisi uuteaineen aiheuttama (esim. vaeltaminen). Esitutkimuksissa tuli myös esille, että paperit, joiden uuteainepitoisuus oli jopa 0.9% eivät olleet aiheuttaneet tarttumista.

Uuteaineen rasvahapot lisäävät kuitenkin paperin happamuutta. Tärkeää on myös missä muodossa rasvahapot uuteaineessa ovat. Vapaat rasvahapot olisivat kuivumisen kannalta huonoimpia /68/.

6.3.2 Pintaenergiat ja sähköstaattisuus

Pintaenergioilla on vaikutusta värin absorpoitumiseen paperiin. Painatustulosten perusteella näyttää kuitenkin siltä, että pintaenergioiden vaikutus on hyvin vähäinen suhteessa muihin värin penetroitumiseen vaikuttaviin tekijöihin. Avoimeen huokoiseen rakenteeseen tapahtuva värin penetroituminen tapahtuu paljolti pakotettuna painonipissä, jolloin pintaenergioiden vaikutus jää vähäiseksi.

Samoin kuin pintaenergioiden kohdalla, on epätodennäköistä, että sähköstaattisuudella olisi merkitystä lomakkeiden tarttumiseen. Lomakepinojen paino aiheuttaa paljon sähköstaattisia voimia suuremman pintoja vastakkain puristavan voiman. Paperit ovat myös karheita, joten sileillä päällystetyillä papereilla esiintyvä sähköisistä voimista johtuva sivujen kiinnittyminen on epätodennäköistä.

6.3.3 Värin ominaisuudet sekä painatus- ja varastointiolosuhteet

Jatkolomakevärit on pääasiassa suunniteltu puuvapaille papereille, joiden pH-arvot ovat korkeita. Siten värien hapettumispotentiaali happamissa olosuhteissa voi olla riittämätön eli värissä käytetty sideaine ei ole riittävän voimakkaasti hapettuva tai värissä ei ole käytetty hapettumista edistäviä katalyyttejä. Käytetty värin määrä voi myös muodostua suureksi, jos pigmentit eivät ole vahvoja väriltään.

Painatusolosuhteissa voi myös helposti tapahtua tarttumistodennäköisyyttä lisääviä muutoksia. Värin määrää säädetään painokoneella subjektiivisesti mallikappaleen avulla. Siten se voi vaihdella suurestikin painajasta riippuen.

Ruskean värin käyttö vaaleudeltaan alhaisella paperilla voi myös helposti aiheuttaa vaikeuksia oikean tummuusasteen määrittelyssä, jolloin värin määrää helposti lisätään. Painoformaatissa olevat kompaktipinnat lisäävät myös riskiä tarttumiselle.

Varastointiolosuhteissa voi helposti tapahtua muutoksia, jotka hidastavat värin kuivumista ja siten lisäävät tarttumistodennäköisyyttä. Varastot ovat usein osittain avovarastoja, joten niiden lämpötila- ja varsinkin kosteusolosuhteet voivat muuttua eri vuodenaikojen mukaan huomattavasti. Painettujen pinojen pakkausmenetelmä ei myöskään estä paperia imemästä kosteutta ympäristöstä (vrt. kopioarkkien kosteutta estävä kääre). Esimerkiksi Summa Tab ajetaan koneella kosteuteen 7.7%, mutta painatuksen jälkeisen suhteellisen kosteuden ollessa tasolla 50% on paperin absoluuttinen kosteus noussut jo tasolle 8.9% (Summa Tabin hystereesikäyrä on *liitteessä 8*). Varastointiolosuhteiden muuttuessa kylmemmiksi ja kosteammiksi (esim. talvella) voi kuivumisessa tapahtua ratkaiseva muutos huonompaan suuntaan.

7. UUSI TUOTANTOTAPA

Painatustulosten perusteella päätettiin muuttaa Summa Tabin valmistustapaa siten, että lomakkeiden tarttumisriskiä voitaisiin pienentää. Tarkoitus oli samalla myös muuttaa paperia ominaisuuksiltaan lähemmäs kilpailijoiden papereita. Uuden valmistustavan suunnittelussa otettiin huomioon tuotannolliset rajoitteet sekä laseroinnin asettamat vaatimukset. Jatkolomakemäärät ovat tuotannossa melko pieniä ja lajia ajetaan kerrallaan hyvin vähän. Siten oli tarkoituksenmukaista hakea valmistustapaa, joka ei aiheuta suuria muutoksia tuotantoon.

Rajoitteet huomioiden suunniteltiin uudelle valmistustavalle hallintasuureiden tasot käyttäen hyväksi Taguchi-menetelmän avulla saatuja tietoja. Suunnittelun jälkeen uudella tavalla ajettiin asiakastilauksia sekä seurattiin sen toimivuutta. Aluksi uudella tavalla ajettiin noin 55 tonnin tilaus 55g/m² paperia. Ajon aikana tehtiin pieniä muutoksia massasuhteisiin ja otettiin näyterullia pölytestejä varten. Tarkoitus oli tutkia lähinnä kaoliinin ja sellun vaikutusta paperin pölyämiseen.

7.1 Lasertulostuksen rajoitteet

Lasertulostuksen vaatimuksia tarkasteltaessa tukeuduttiin kirjallisuuteen sekä kilpailijavertailuun, joka tehtiin kuudelle Enson (Summa ja Anjala) sekä kahdelle kilpailijan paperille (MoDo ja Norske). Papereista mitattiin normaaleja tilasuureiden arvoja Summan laboratoriossa sekä myös harvinaisempia lasertulostuksen vaatimia ominaisuuksia Keskuslaboratoriossa. Tulosten perusteella etsittiin muutoksia, joita halutut paperin karheuden, huokoisuuden ja paksuuden lisääntyminen saisivat aikaan lasertulostuksessa. Haluttiin selvittää miten uuden ajotavan muutokset vaikuttaisivat paperin ajettavuuteen ja painettavuuteen lasertulostuksessa ja rajoittaisiko se haluttuja muutoksia. Mittausten tulokset ja korrelaatiomatriisi on esitetty *liitteessä 9*.

7.1.1 Tulokset

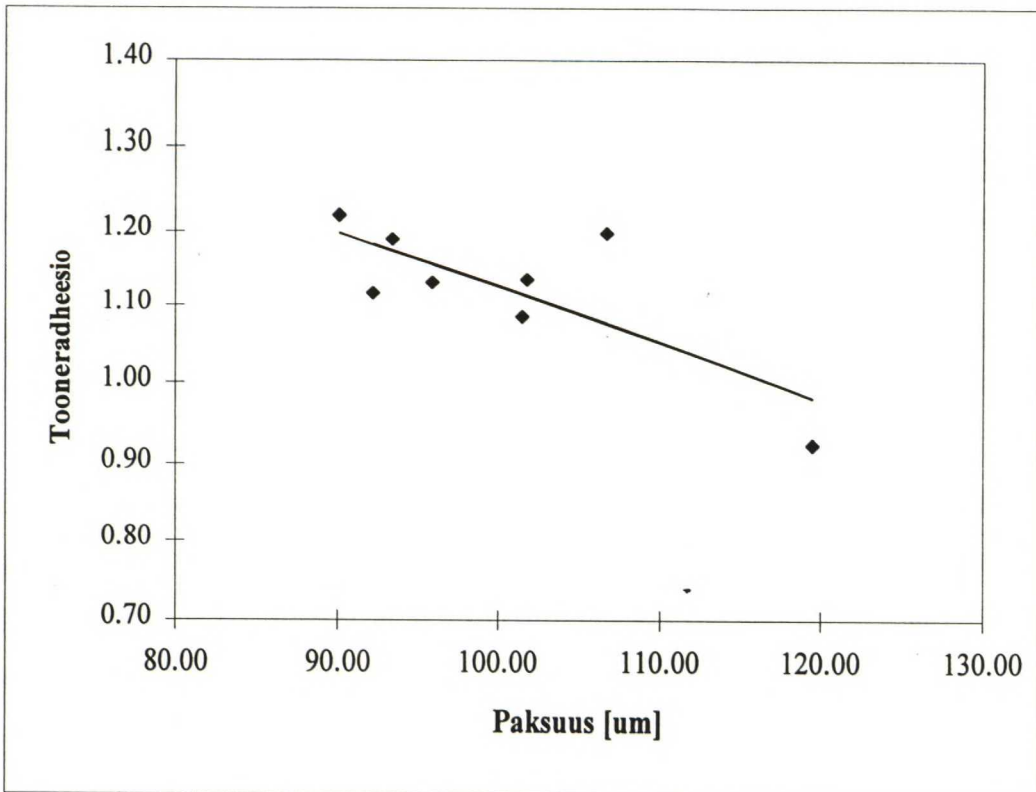
Paperin ajettavuuden ei pitäisi muutosten takia suuresti muuttua. Karheampi paperi voi hieman vähentää lomakkeen tarttumista lasertulostimen pintoihin ja siten vähentää staattisen sähköön kehittymistä. Tämän lisäksi paperin suurempi bulkki lisää paperin jäykkyyttä ja parantaa ajettavuutta lasertulostimissa. Jäykempi paperi parantaa myös lopputuotteen käsiteltävyyttä. Mahdollinen kaoliinin käyttö voi kuitenkin aiheuttaa perferointiterien nopeampaa kulumista.

Kilpailijavertailun mukaan Summan papereilla oli hyvä eli alhainen käyritysmistaipumus kosteuden ja kuumennuksen suhteen. Sitä on Summassa optimoitu jo aikaisemmin pyrkimällä muuttamaan kuituorientaatiota. Suunnitelluilla muutoksilla ei uskottu olevan vaikutusta käyritymiseen.

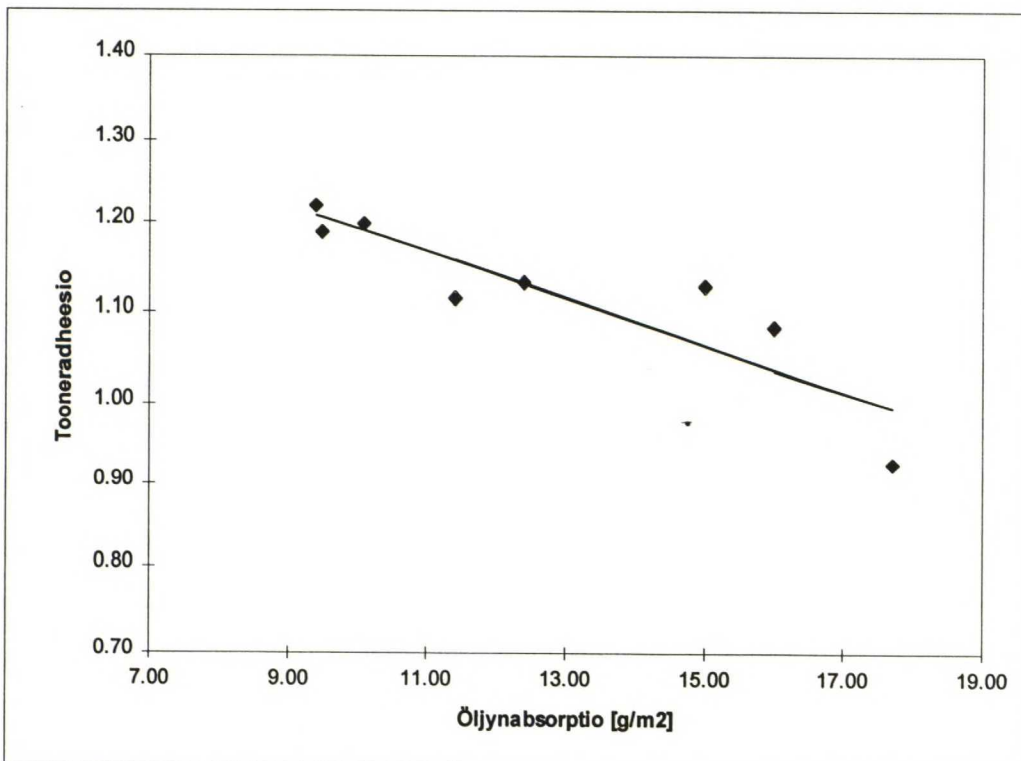
Uuteainepitoisuuden laskulla olisi myös positiivinen vaikutus. Se vähentäisi paperista höyrystyvien aineiden määrää.

Toonerin siirtoon vaikuttavat eniten sähköiset ominaisuudet /15/, jotka mittausten mukaan olivat Summan papereilla korkeat. Hallintasuureita haettaessa huomattiin, ettei valituilla hallintasuureilla pystytty vaikuttamaan paperin sähköisyyteen. Siten toonerin siirron ei pitäisi heikentyä muutosten takia. Lisääntyvä karheus saattaa heikentää toonerin siirtoa, mutta toisaalta paksuuden lisääntyminen parantaa sitä.

Toonerin kiinnittymistä voitiin mitata suoraan KCL:ssä siihen kehitetyllä mittaumenetelmällä. Tooneradheesiota kuvaavan luvun ollessa yli 1.1 on toonerin kiinnittyminen paperiin hyvä. Alle yhden menevä arvo kertoo erittäin huonosta tooneradheesiosta. Tooneradheesioon vaikuttivat eniten paperin paksuus (*kuva 34*), huokoisuus (*kuva 35*) ja sähköstaattisuus ($R = 0.86$).



Kuva 34. Paperin paksuuden vaikutus tooneradheesioon ($R = -0.76$).



Kuva 35. Öljynabsorptiolla mitatun huokoisuuden vaikutus tooneradheesioon ($R = -0.88$).

Mainittujen tekijöiden vaikutusmekanismi on periaatteessa sama: paperin lämpenemisen heikentyminen heikentää tooneradheesiota. Paksu ja huokoinen paperi lämpenee hitaammin lasertulostimen kuumennustelojen välissä, jolloin tooneri ei ehdi sulaa nipissä ja penetroituminen sekä ankkuroituminen paperiin jää heikoksi. Sähköstaattisuus puolestaan parantaa paperin lämmönjohtoa ja siten toonerin sulaminen onnistuu paremmin /10/.

Kirjallisuuden /17, 18/ mukaisesti karheudelle saatiin tooneradheesiota heikentävä vaikutus. Karheus vähentää kontaktipinta-alaa kuumennustelojen välissä, jolloin toonerin sulaminen heikentyy. Vaikutussuhde karheuden ja tooneradheesion välillä oli kuitenkin tilastollisesti heikko ($R = -0.39$). Lisäksi karheammat pisteet olivat keskimäärin paksumpia ja alhaisempia sähköstaattisilta ominaisuuksiltaan. Tämän vuoksi karheuden osalta tulosta ei voida pitää luotettavana. Kirjallisuudessa esitetyt tulokset karheuden suhteen ovat myös osittain ristiriitaisia. Viimeisimpien tutkimusten /66/ mukaan karheuden uskotaan lisäävän tooneradheesiota toonerin paremman ankkuroitumisen vuoksi. Tulosten ristiriitaisuus voi johtua käytetyistä lasertulostimien eroista esim. lämpötilojen tai telojen (kova vs. pehmeä tela) suhteen. Karheudelle on todennäköisesti olemassa myös optimialue.

Vaikka paperin huokoisuuden ja paksuuden nostamisella onkin tooneradheesiota heikentäviä seuraumuksia, uskottiin vaikutusten jossain määrin kompensoituvan muilla paperin muutoksilla (esim. tuhkan lämmönjohtavuuden lisäys). Lisäksi muutoksen suuruuden arvioitiin lasertulosten perusteella olevan hyväksyttävällä tasolla. Suurempi huokoisuus ja karheus voivat kuitenkin heikentää tulostettavien merkkien terävyyttä. Terävyyttä heikentävän mikrokarheuden muutoksen uskottiin kuitenkin olevan vähäinen.

7.1.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina. Mittaukset tehtiin olemassaolevien standardien (*liite 4*) mukaisesti. Muutamien näytteiden kohdalla näyttemateriaalin vähäisyys aiheutti normaalia lukumäärää pienemmän rinnakkaismääritysten teon. Sillä ei kuitenkaan sinänsä uskottu olevan suurta vaikutusta tuloksista tehtyjen johtopäätösten luotettavuuteen.

7.2 Uuden tuotantotavan toteutus

Uuden ajotavan hallintasuureiden tasot määritettiin rajoitteiden puitteissa Taguchi-mentelmällä haettujen tulosten avulla. Pääasiallisesti tavoitteena oli tehdä paperista karheampaa ja huokoisempaa sekä pitää formaatio hyvänä. Uusi ajotapa oli samalla myös Taguchi-tulosten varmistuspiste, jonka tarkoituksena oli varmistaa, että tulokset olisivat luotettavia ja halutut paperin ominaisuudet olisi tulosten avulla mahdollista saavuttaa. Valitut hallintasuuretasot sekä aikaisempi käytäntö on esitetty *taulukossa 7*.

Taulukko 7. Uudelle ajotavalle valitut hallintasuuretasot sekä vanhan ajotavan vastaavat tasot. Vanhan ajotavan tasot ovat pidemmän aikavälin toteutuneita tasoalueita. Tasot ovat käytännössä vaihdelleet paljonkin riippuen käyttökäytännöstä.

	"vanha tapa"	uusi tapa
TMP:n osuus (%)	35	25
TMP:n freenestaso (ml)	105	105
Hiokkeen freenestaso (ml)	75	75
Kalanterointitapa	6-tela	2-tela
Formerin imu (kPa)	3-11	5
Listakengän imut (kPa)	0-6	1/5/5
Tuhka (%)	0	5

Uudella ajotavalla ajettiin asiakastilauksena noin 55 tonnia paperia, minkä aikana ei esiintynyt katkoja paperikoneella eikä pituusleikkurilla. Ongelmana oli kuitenkin välikalanterin kuormitus, mikä on PK 2:lla ollut pitkään ongelmallinen. Kuormitusta nostettaessa radan reunat alkoivat aaltoilla. Mahdollisen vekin syntymistä ei kuitenkaan havaittu ja saavutetuilla kuormilla pystyttiin ajamaan normaalisti. Kalanterilla ainoastaan yhden nipin läpi ajettaessa muodostuu myös paksuusprofiilin hallinta helposti ongelmalliseksi. Tarkalla kalanterin säädöllä profiili pystyttiin kuitenkin pitämään riittävän hyvänä. Välikalanterin kuormitettavuus ja paksuusprofiilin hallinta ovat kuitenkin kriittisiä tekijöitä uuden ajotavan onnistumiselle.

Tulokset valittujen paperin ominaisuuksien kohdalta on *taulukossa 8*. Taulukossa on vertailuna myös Anjalan ja MoDon papereiden ominaisuuksia. Kaikki näytteet on otettu asiakasrullista.

Taulukko 8. Uudella ja vanhalla ajotavalla tuotetun paperin ominaisuuksien vertailu muiden tuottajien papereihin. Uuden ajotavan täydellisemmät tulokset (piste 11) ovat liitteessä 3 ja ajo-olosuhteet liitteessä 2. Tooneradheesion kohdalla on merkitty mittauspuoli.

	Summa "vanha"	Summa "uusi"	Tamform	MoDo Ecolist
Neliömassa (g/m ²)	55	55	55	65
Karheus (ml/min) ap	158	254	308	247
Karheus (ml/min) yp	142	185	226	232
Ilmanläpäisevyys (ml/min)	126	140	168	149
Öljynabsorptio (g/m ²) ap	13.4	14.5	21.3	17.7
Öljynabsorptio (g/m ²) yp	9.4	10.4	15	15.1
Beta-formaatio	2.4	2.7	4.0	3.9
Bulkki (m ³ /t)	1.63	1.73	1.72	1.81
Paksuus (µm)	90	96	96	120
Tooneradheesio	1.22 (yp)	1.11 (ap)	1.13 (yp)	0.92 (yp)

Tuloksista nähdään, että uusi ajotapa nostaa paperin karheutta, huokoisuutta sekä parantaa sen ryhtiä nostamalla bulkkia. Taguchi-tulosten mukaisesti huokoisuutta

oli kuitenkin vaikea suuresti nostaa. Paperin formaatio oli hieman huonompi kuin referenssipisteen, mikä kertoo viiraosan hallintasuureiden onnistuneesta asettelusta referenssipistettä ajettaessa. Molemmat formaatioluvut olivat kuitenkin erinomaisella tasolla verrattuna ajettuihin koepisteisiin ja kilpailijoihin.

Laserominaisuuksista mitatun tooneradheesion kohdalla tulos oli melko odotettu: suurempi huokoisuus ja paksuus heikensivät tooneradheesiota. Liian suurta negatiivista muutosta ei kuitenkaan tapahtunut, vaan tooneradheesion arvo oli vielä yli 1.1, mikä on korkeampi kuin kilpailijoiden arvot ja samalla tasolla Anjalan papereista mitattujen arvojen kanssa. Vertailuna ollut vanhan ajotavan tooneradheesiomittaus oli lisäksi tehty tiiviimmälle puolelle paperia. Muiden laserominaisuuksien kohdalla muutosten pitäisi odotusten mukaan olla lähinnä positiivisia. Laajempaa mittaussarjaa laserominaisuuksista ei kuitenkaan enää tehty, vaan muutoksia analysoitiin Summan laboratoriossa mitattujen tilasuuretulosten avulla.

Uuden ajotavan ohjeistukseen kuului myös pH:n nosto käytännön sallimalle tasolle 5 (normaalisti 4.6-5.0). Kuumahierteen alempi osuus vähentänee uuteaineiden määrää, mutta toisaalta kaoliini lisää sitä, joten uuteainepitoisuutta ei pystytty sanottavasti vähentämään.

Kaoliinin käytön pitäisi kirjallisuuden [67] mukaan parantaa myös paperin vaaleuden pysyvyyttä, mittapysyvyyttä, kovuutta ja lämmönjohtoa sekä pienentää kokoonpuristuvuutta ja kitkaa. Kokonaisuudessaan uusien ominaisuuksien pitäisi siten vähentää lomakkeiden tarttumisriskiä esipainatuksen jälkeen sekä myös parantaa lasertulostuksen ajettavuutta. Lasertulostuksen painettavuuteen muutoksilla oli kuitenkin jossain määrin negatiivisia vaikutuksia.

Myös paperin kosteustavoitetta nykyisestä 7.7%:sta olisi mahdollista hieman nostaa. Kosteudella on merkitystä laseroinnissa, mutta koska valmiit esipainetut lomakkeet varastoidaan ilman kosteuskäärettä (toisin kuin kopioarkit) on

todennäköistä, että varastoinnin aikana paperin kosteus kuitenkin nousee yli 7.7%. Nyt esitetyissä tuloksissa kosteus oli vanhalla tasolla.

Tulokset osoittivat myös, että Taguchi-menetelmällä haetuilla hallintasuure-tuloksilla oli mahdollista saada aikaan halutut muutokset paperin tilasuureissa. Siten hallintasuureiden välillä ei pitäisi olla ainakaan kovin suuria tulosten tarkkuutta heikentäviä keskinäisvaikutuksia.

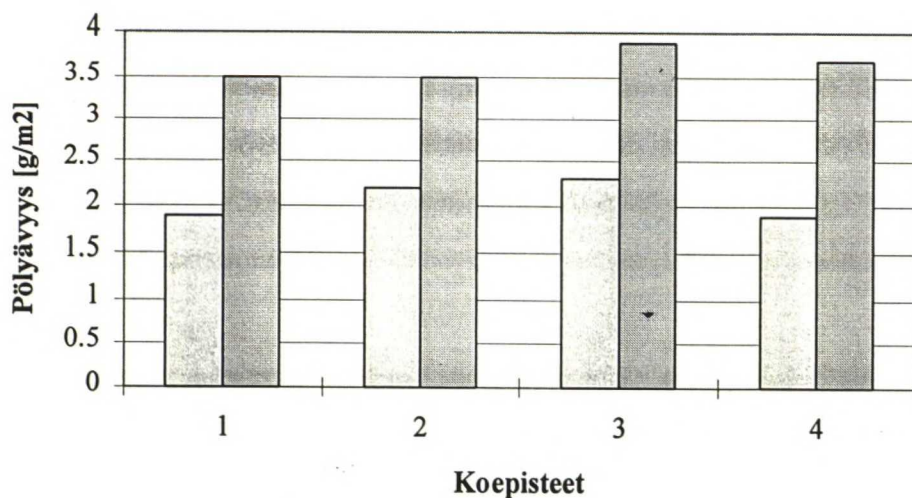
7.2.1 Pölyävyyden tarkastelu

Ajon aikana muutettiin myös hieman massanannostelua tarkoituksena tutkia uuden ajotavan sekä kaoliinin ja sellun vaikutusta pölyävyyteen. Sitä varten ajettiin kaksi koepistettä pisteen 11 lisäksi (pisteet 12-13). Pisteiden ajo-olosuhteet on *liitteessä 2* ja koepisteistä mitatut ominaisuudet *liitteessä 3*. Pölytesti tehtiin Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa ja tulokset on esitetty *kuvassa 36*.

Kaikkien pisteiden pölyävyys oli hyvin samalla tasolla. 4000 kierroksen kohdalla tarkasteltuna uuden ajotavan rulla pölysi yhtä paljon kuin referenssirullana käytetty vanhan ajotavan rulla. Uuden ajotavan rullia vertailtaessa sellun vähentäminen kolmella prosentilla lisäsi pölyävyyttä keskimäärin 0.4 g/m². Kaoliinin vähentäminen lisäsi pölyävyyttä 0.2g/m². Kuvasta 36 nähdään, että 1000 kierroksen kohdalla järjestys oli hieman erilainen.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että uuden ajotavan rullat (erityisesti rullat 2 ja 4) pölyisivät keskimäärin yhtä paljon kuin vanhalla ajotavalla ajettu rulla. Sellun vähentäminen lisäsi kuitenkin pölyävyyttä. Vaikutus oli kuitenkin sitä luokkaa, että sellun määrän alennusta prosentilla tai kahdella kannattanee harkita. Asiakkaan silmissä muutos ei todennäköisesti suurestikaan näy, koska pintaliimaamattomana paperin pölyämisen taso on jo hyvinkin korkea.

Pintapölyävyys



Rulla 1: "Vanhan" ajotavan referenssipiste.

Rulla 2: Uusi ajotapa, TMP 25%, sellu 10%, tuhka 5%

Rulla 3: Uusi ajotapa, TMP 25%, sellu 7%, tuhka 5%

Rulla 4: Uusi ajotapa, TMP 25%, sellu 10%, tuhka 0%

Kuva 36. Paperin pölyävyys alapuolella paperia (painopuoli) 1000 ja 4000 kierroksen kohdalla. Offset-painatus nopeudella 2.8 m/s. Värinä käytettiin sanomalehtiväriä.

Springer menetelmällä mitatut paperin pintalujuudet olivat kaikissa pisteissä parhaalla tasolla 1 sekä ylä- että alapuolella paperia.

Mittaukset oli tehty sanomalehtivärillä, joten aivan tarkkaa kuvaa ne eivät jatkolomakepainatuksen pölyämisestä anna. Tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia.

7.3 Taloudellinen tarkastelu

Uudella ajotavalla on mahdollista saavuttaa myös taloudellista hyötyä. Tuotantokustannusten vähenemiseen vaikuttavat muutokset annosteltavien massojen osuuksissa sekä kaoliinin käytön myötä mahdollistunut suurempi ajonopeus. Uusi ajotapa sopii myös hyvin tuotantocykliin sekä helpottaa tehtaalla ajoittain esiintyvää kuumahierteen massapulaa.

Kaoliinin käyttö ja mahdollinen sellun osuuden lasku vähentävät raaka-ainekustannuksia. Pölytestien mukaan sellun osuuden vähentäminen huononsi hieman kriittistä pintapölyävyyttä. Muutos oli referenssinä käytettyyn vanhalla ajotavalla ajettuun rullaan kuitenkin niin pieni, että sellun hinnan ollessa korkea muutosta kannattaa harkita.

Summan paperikone kaksi on kuivatusrajoitteinen kone, joten koneen nopeutta on jouduttu rajoittamaan useilla paksummilla paperilajeilla, niin myös jatkolomakkeen kohdalla. Kaoliini parantaa rainan lämmönjohtokykyä, joten kuivatus on tehokkaampaa ja koneen nopeutta voidaan nostaa. Koneen tuotantonopeutta oli mahdollista nostaa noin 80 m/min (55 g/m² paperi) nostettaessa kaoliinin annostelu nolasta viiteen prosenttiin. Vanhan ajotavan nopeus on pidemmän ajan toteutunut keskiarvo.

Taulukossa 9 on vertailtu vanhan ja uuden ajotavan muuttuvien tuotantokustannusten eroja. Vertailu on tehty massamuutosten perusteella. Käytetyt luvut eivät ole oikeita kustannuslukuja vaan vertailulukuja.

Taulukko 9. Vanhan sekä uuden ajotavan muuttuvien kustannusten vertailu perustuen massojen annostelun muutoksiin (55 g/m²). Uuden ajotavan laskelmat tehty kahdella eri sellun määrällä.

	Vanha		Uusi I		Uusi II	
	Osuus	Kustannus	Osuus	Kustannus	Osuus	Kustannus
TMP	35%	28.28	25%	20.2	25%	20.2
Hioke	50%	40.3	55%	44.33	57%	45.94
Sellu	10%	35	10%	35	8%	28
DIP	5%	6.25	5%	6.25	5%	6.25
Tuhka	0%	-	5%	3.9	5%	3.9
Yhteensä	100%	109.83	100%	109.68	100%	104.29
Nopeus	940m/min		1020m/min		1020m/min	
Kustannusero %			-		0%	
					-4.9%	

Nopeuden muutos oli noin 8.5%, mikä vähentää lajikohtaisia kiinteitä kustannuksia. Lajikohtaisesti tarkasteltuna ajotavan muutos oli siis selkeästi kustannuksia alentava ilman sellun osuuden laskuakin. Kapasiteetin ollessa täyskäytössä nopeuden nousu vapauttaa koneaikaa muuhun tuotantoon. Uuden ajotavan myötä lajinvaihtojen osuus tuotannossa säilyy samana, joten lisätuotannon voidaan katsoa olevan myyntikelpoista paperia. Siten voidaan perustellusti sanoa, että kone- ja tehdastasolla uusi ajotapa lisää tuottoja.

Taulukosta 9 nähdään sellun osuudella olevan selvästi suurin vaikutus muuttuviin kustannuksiin. Jos kuumahierteen mukana tulevia uuteaineita voidaan vähentää, kuumahierrettä tehtaalla riittää ja bulkin nousu ei muodostu ongelmaksi on järkevää pyrkiä nostamaan TMP:n osuutta. Muutoksella olisi positiivinen vaikutus huokoisuuteen sekä pölyämiseen ja sellun osuutta voitaisiin vähentää. Myös uusiomassan osuuden pienentämistä kannattaa jatkossa harkita asiakkaista riippuen. Massamuutokset tulisi kuitenkin tehdä harkiten ja lasertulostuksen vaatimukset huomioiden.

8. YHTEENVETO

Työn tavoite oli pyrkiä vähentämään esipainettujen jatkolomakkeiden tarttumisriskiä paperin tilasuuremuutosten avulla. Muutokset tuli toteuttaa ottaen huomioon lasertulostuksen vaatimukset. Tavoitteena oli myös suunnitella ja toteuttaa muutokset tuotannossa uuden tuotantotavan muodossa.

Kokeellisen osan suunnittelun ongelmaksi muodostui mittausmenetelmän puuttuminen kuivumisen ja tarttumisen seurannalle. Työssä ei siten pystytty esittämään suoria vaikutussuhteita paperin eri ominaisuuksien ja värin kuivumisen tai lomakkeiden tarttumisen välille. Mittausmenetelmää yritettiin kehittää Enson-Gutzeit OY:n Imatran tutkimuskeskuksessa, mutta siinä ei onnistuttu. Tarttumista jouduttiin siten ennustamaan set-off, rub-off ja IR-spektri mittausten avulla. Mittauksia tehtiin laboratorio- ja tehdaspainetuista papereista. Lomakepainossa painettuja lomakepinojen tarttumista havainnoitiin lisäksi subjektiivisesti.

Esipainettujen jatkolomakkeiden tarttumista toisiinsa kiinni voidaan ehkäistä muuttamalla paperia huokoisemmaksi ja karheammaksi. Huokoisuuden ansiosta väri absorboituu paperiin paremmin ja karheus puolestaan vähentää kontaktipinta-alaa painettujen lomakkeiden välillä. Molemmilla mainituilla paperin ominaisuuksilla on myös värin kuivumista edistävä vaikutus; ne lisäävät pinon sisäisen hapen määrää. Hyvä formaatio parantaa painovärin absorpoitumisen tasaisuutta ja siten vaikutukset ovat tarttumisen ehkäisemiseksi positiivisia., Paperin pintaenergioiden ja sähköstaattisuuden vaikutus lomakkeiden tarttumisriskin nousuun uskotaan tulosten perusteella olevan erittäin vähäinen. Sensijaan paperin happamuudella, johon uuteainepitoisuudella on vaikutusta, on värin kuivumista hidastava vaikutus.

Tulosten perusteella Summa Tabin tuotantotapaa muutettiin siten, että lomakkeiden tarttumisriski pienenesi. Uusi ajotapa suunniteltiin ottaen huomioon lasertulostuksen vaatimukset paperilta. Valittujen hallintasuureiden tasot valittiin käyttäen hyväksi Taguchi-menetelmällä saatuja tuloksia. Uuden ajotavan toteutus koneella oli onnistunut ja asiakkaatkin ovat ottaneet muutoksen hyväksyen vastaan. Muiden vaikutusten lisäksi uusi ajotapa oli taloudellisesti edullinen.

8.1 Jatkoehdotukset

Työn perusteella tehtyjen mittausten sekä havaintojen perusteella näyttää siltä, että esitettyjen ja toteutettujen paperin fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien muutoksilla voidaan ainoastaan vähentää tarttumisriskiä, ei kokonaan estää sitä. Lomakkeiden tarttumisriskiä nostavia tekijöitä, joihin paperinvalmistaja ei suoranaisesti voi vaikuttaa, on jalostusprosessin aikana useita:

- painossa käytetty värin määrä ja sen säätämisen epätarkkuus
- painoformaatti (kompakti- vs. rasteripinnat)
- kostutusveden ominaisuudet
- värin hapettumispotentiaali (kuivumisen nopeus ja tehokkuus) ja pigmenttien voimakkuus (vaikuttaa värin määrään)
- varastointikosteus ja -lämpötila

Koska usea mainituista tekijöistä ei ole tarkasti kontrolloitu verrattuna paperin ominaisuuksien kontrolliin on todennäköistä, että yllättävät tarttumisongelmat eivät johdu yksinomaan paperista. Ongelman esiintyessä on siksi vaikea sanoa onko tarttumisen laukaissut paperin ominaisuuksien vaihtelut, muutokset värierissä, varastointikosteudessa vai onko syy kenties siinä, että painossa uuden vuoron painaja on säätänyt värin määrää uudelleen. Kyse on kuitenkin selvästi tarttumiselle kriittisen rajan ylittymisestä. Värin kuivuessa hitaasti ja muiden

tarttumiselle altistavien tekijöiden toteutuessa pinojen suuri paino (jopa 4-5 laatikkoa päällekkäin) painaa lomakkeita kiinni toisiinsa ja tarttuminen tapahtuu.

Paperinvalmistaja voi omalta osaltaan ehkäistä ongelmaa muuttamalla paperin ominaisuuksia vähemmän riskialttiiseen suuntaan. Ongelman poistaminen pelkällä paperin ominaisuuksien muutoksilla ei kuitenkaan ole järkevää ja tuskin mahdollistakaan. Painajan sekä paperin- ja värinvalmistajan yhteistyöllä voidaan ongelmaan varmastikin löytää yhteinen järkevä ratkaisu. Helpoiten ratkaisu ongelmaan löytyy todennäköisesti muuttamalla väriä voimakkaammin hapettuvaksi huonoissakin olosuhteissa (happamuus ja kosteus)*. Siten päästään helpoiten pois tarttumisen riskialueelta. Paperin tuotannossa ratkaisevat muutokset voivat olla hankalia ja jopa mahdottomia (esim. pH:n nosto). Samoiten varastointiolosuhteiden muutokset kosteuden ja lämpötilan suhteen ovat usein liian kalliita.

Paperin ja värin yhteensopivuus ja värin kehittäminen olisi pitänyt tarkistaa jo siinä vaiheessa, kun laservärejä alettiin käyttää. Puupitoisten papereiden käyttö lasertulostukseen lisääntyi nopeasti markkinoiden muuttuessa ja papereita alettiin painaa laserkelpoisella värillä. Tarkistusta yhteensopivuudesta ei osattu tehdä vaan painaja otti suoraan käyttöön värit, jotka oli kehitetty puuvapaille papereille. Värit eivät sopineet puupitoisille papereille ja tarttumisongelmaa alkoi esiintyä. Ongelmaa esiintyi eritasoisena eri valmistajien papereilla riippuen pääasiassa tarttumiselle altistavien paperin ominaisuuksien eroista.

Tehdasmittakaavaisen jatkotutkimuksen järjestäminen tarttumiseen vaikuttavien tekijöiden tarkemmaksi yksilöimiseksi on hyvin vaikeaa mittausmenetelmän puuttumisen vuoksi. Tarttumista voi tietysti havainnoida subjektiivisesti, mutta monen muuttujan takia koejärjestelyistä tulisi helposti liian hankalat ja kalliit.

* Ongelma poistui eräältä Summan asiakkaalta, kun se yhdessä värinvalmistajan kanssa kehitti "aggressiivisemmän", voimakkaammin hapettuvan värin.

Laboratoriomittakaavassa tarttumista voidaan simuloida ja ehkä paremmin mitatakin, mutta tulokset eivät ole helposti sovellettavissa tuotantoon (vrt. FOGTRAN tutkimukset tarttumisen aiheuttajista). Siten ongelman käytännönläheinen ratkaisu yhteistyössä painajan ja värinvalmistajan kanssa värin muuttamiseksi voimakkaammin kuivuvaksi on perusteltua.

Lasertulostus on puupitoiselle paperille lähes ylivoimaisen vaativa prosessi verrattuna puuvapaaseen paperiin. Mekaanisten printtereiden korvautuminen lasertulostimilla on pitkällä aikavälillä kuitenkin todennäköistä, joten puupitoisen paperin laserkelpoisuuden kehittelyä kannattaisi jatkaa. Olisi järkevää tutkia miten paperista höyrystyvien komponenttien (lähinnä uuteaineita) määrää voitaisiin vähentää. Tutkimus keskittyisi lähinnä massanvalmistuksen ja vesikiertojen optimointiin. Laserkelpoisuuden kehittelyyn liittyy myös paperin sähköisten ominaisuuksien hallinta sekä mahdollinen pintaliimauksen vaikutus lasertulostukseen. Pintaliimauksella voitaisiin ratkaisevasti vähentää paperin pintapölyämistä.

Jatkolomakkeen valmistus on kokonaisuudessaan hyvin vaativa prosessi hallita. Lisäksi eri osaprosessit (lähinnä tulostusteknologia) kehittyvät koko ajan voimakkaasti. Siksi asiakasongelmien esiintyminen ilman jatkuvaa tuotekehittelyä on todennäköistä. Ongelmia voidaan kuitenkin estää lisäämällä yhteistyötä koko jalostusketjun kanssa (painajat, värinvalmistajat, lasertulostinten valmistajat). Siten tarvittavat tuotemuutokset voitaisiin tehdä proaktiivisesti, mikä olisi kaikkien osapuolien eduksi.

VIITELUETTELO

- /1/ **Fairley, M.** Opportunities in a changing forms market. Paper Europe, 3(1991)7, s.15-17.
- /2/ **Spezialpapiere: Expansion.** Papier aus Österreich. (1992)4, s. 6-7.
- /3/ **Europas Formularnachfrage,** Der Druckspiegel (1990)1, s 45-47.
- /4/ **Harris, R.** The outlook for business forms in Europe to 1995. PPI Business Papers Conference 1, 1987
- /5/ **Growing demand for recycled forms.** Paper Europe, 5(1993)3, s.24.
- /6/ **Karkea markkinaselvitys jatkolomake- ja toimistopapereista,** Enso-Gutzeitin tietopalvelujen selvitys 30.3.1992.
- /7/ **Mattila, M.,** Lomakepainatuksen tuotantopäällikkö, Auraprint OY, Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Turku.
- /8/ **Lenetz, M.,** Tuotantopäällikkö, Polytypos OY, Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Turku.
- /9/ **EPP OY:n sisäiset, julkaisemattomat tutkimukset,** 1994.
- /10/ **Weigl, J., Wilken, R., Kästner, M.** Anforderungen an gestrichene und ungestrichene papiere für den Laserdruck unter besonderer Berücksichtigung elektrostatischer Aufladungen. Wochenblatt für Papierfabrikation 119(1991) 11-12, s. 403-414.
- /11/ **Hurskainen, P.,** Laser- ja mustesuihkupainatukseen soveltuvien uusien paperilajien kehittäminen. Diplomityö, TKK Puunjalostusosasto. Espoo 1986.
- /12/ **Forms design reference guide for the IBM 3800 printing system,** IBM, 1987.
- /13/ **Papierspezifikation für Laserdrucker,** Siemens AG, 1982, Munchen.
- /14/ **Smith, D.** Paper for laser printers. Paper Europe. 1(1990)10, s. 36.
- /15/ **Visti, J.,** Tutkija KCL, Enson sisäinen koulutus. Anjala 1994
- /16/ **Reinwart, K-D.,** Der Laserdruck- ein neuer Anspruch an den Papiermacher. Das Papier 47(1993)7, s. 364-369.
- /17/ **Williams, E.,** The physics and technology of Xerographic processes. Wiley & Sons, New York 1984.
- /18/ **Vihikainen, P.,** Laserkelpoisen pigmentoidun painopaperilaadun kehittäminen. Diplomityö, TKK Puunjalostusosasto. Espoo 1987.

- /19/ **Viluksela, P.**, Paperin ja painoväriin tarttuminen laserkirjoittimen telalle. Diplomityö, TKK Puunjalostusosasto. Espoo 1983.
- /20/ **Visti, J.**, Tutkija, KCL. Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Espoo.
- /21/ **Ives, I & Highton, A.**, Paper properties for laser printing, PIRA Project, Final report, 1989, England.
- /22/ **Leach, R.** (toim.), The printing ink manual. 4th Ed., England 1988, Van Nostrand Reinhold Co Ltd.
- /23/ **Halonen, N.**, Kuivaoffset. Insinööri. Espoon-Vantaan teknillinen oppilaitos. Espoo 1992.
- /24/ **Fritz, B.**, Wasserloser Offsetdruck.. FOGRA-Symposium, 15.-16. 11. 1993, München.
- /25/ **Pietzsch, R.**, Drucktechnische Untersuchungen des wasserlosen Offsetdrucks. FOGRA-Symposium, 15.-16.11.1993, München.
- /26/ **Kunnola, V.** Painovärit. KCL:n painatusseminaari, Espoo 1994.
- /27/ **Merilahti, M.**, Offsetpainovärit. INSKO-koulutus 81-88 IV.
- /28/ **Laine, H.**, SICPA Oy, Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Tampere.
- /29/ **Kankfelt, T.** Tuotekehityssinsinööri, Coates Loreillaux OY. Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Vantaa.
- /30/ **Oittinen, P. & Saarela, H.** Graafinen materiaaalitekniikka, Otakustantamo, Karisto Oy, Hämeenlinna 1987.
- /31/ **Frank, E.**, Druckfarben für wasserlosen Offsetdruck. FOGRA-Symposium, 15.-16.11. 1993, München.
- /32/ **Jonsson, A.**, Fuktning och fuktvatten, teoksessa Teknik I grafisk industri - Offset 1993, GFL- julkaisu, Stockholm 1992. s. 73-91.
- /34/ **Lilley, S.**, Inks: towards better quality and rub-resistance, Production Journal 1988, s 7.
- /35/ **Nieminen, S.**, Painoprosessit, KCL:n painatusseminaari, Espoo 1994.
- /36/ **Kajanto, I.**, KCL:n julkaisematon tutkimus, 1987.
- /37/ **Lyne, B.**, On the interactions of liquids with paper under dynamic condition. Products of Papermaking, vol 2, Transactions of the tenth fundamental research Symposium, Oxford Sept 1993. Toim. Baker C. , Julk. Pira Int. s. 885-911.

- /38/ **Kartovaara, I.**, Nesteen tunkeutuminen huokoiseen aineeseen. INSKO 1989, 93-89 X. Kuitu- ja Paperifysiikka 10.-12. 89. Porvoo.
- /39/ **Ranger, A.**, Coating pore structure analysis by fluid penetration and permeation. The role of fundamental research on paper making, vol 2. Transactions of the symposium at Cambridge, Sept 1981. Toim. Brander, J., Julk. Mechanical Engineering Publications Ltd, London, s. 685-741.
- /40/ **Kyllönen, T.**, Karheuden ja kiillon väliset riippuvuudet paperissa ja painojäljessä. Diplomityö. Puunjalostusosasto. Espoo 1989.
- /41/ **Laamanen J.** Paperin rakenne ja sen luonnehtiminen, paperin z-suuntainen rakenne. INSKO 93-89, Kuitu- ja Paperifysiikka 10.-12. 89. Porvoo.
- /42/ **Äikäs, N.** Päällysteen rakenteen vaikutus painoväriin kuivumiseen. TKK Puunjalostustekniikan osasto, Espoo 1994.
- /43/ **Scarlett, T. & Nelson, R.** What the Printer Should Know about Ink, GATF, Pittsburgh, 1984, s. 71-85.
- /44/ **Bristow, J. & Bergenblad, H.**, Paper structure and ink setting factors influencing the off-set test. IARIGAI 21st International Research Conference, 12-18 May 1991, Pittsburgh, PA III.
- /45/ **Äikäs, N.**, Tutkija, TKK. Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Espoo.
- /46/ **Nießner, G.**, Das Wegschlagverhalten von Offsetdruckfarben und deren Wechselwirkung mit dem Bedruckstoff. FOGRA- Symposium, München 22.-23. November 1990.
- /47/ **Weidenmuller, J.**, Probleme bei der Druckfarbentrocknung im Offset-, Zeitungs- und Magazindruck auf holzhaltigen Naturpapieren. FOGRA-Symposium, München 22.-23.11. 1990.
- /48/ **Erich, F.**, Einsatz pflanzlicher Öle im Offsetdruck. Coating (1993)10, s.358-360.
- /49/ **Klemm, K., & Arnold, K.**, Formulardruck mit Lasersystemen, Coating (1982)5, s. 139-142.
- /50/ **Stenius, P.**, Henkilökohtainen tiedonanto, Puukemian professori. Espoo 1994.
- /51/ **Williams, R.**, Paper and Ink Relationships. Mennonite Press, Kansas USA, 1985.
- /52/ **Carlsson, G. & Wallner, E.**, Tidningstryckfärgers set-off och rub-off. Tukholma, 1969. GFL, Meddelande 63.
- /53/ **Bulinski E., DeJidas L., Dunbar R., Eldred N., Hannah D., Jorgensen G.**, Solving Sheetfed Offset Press Problems, GATF, 1981, Pittsburgh, PA.

- /54/ **Müller, P.** Schwierigkeiten im Offsetdruck. Royal Druck und Verlag, Bad Oeynhausen, 1974.
- /55/ **Bureau, W.,** What the Printer Should Know about Paper, GATF, Pittsburgh, 1982, s. 197-200.
- /56/ **Hakkila, O.,** Asiakaspalveluinsinööri, KCL. Henkilökohtainen tiedonanto. 1994 Espoo.
- /57/ **Montgomery, D.** Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons New York 1991. s. 414-432
- /58/ **Teollinen koesuunnittelu, osat 1-2.** Laatutieto OY:n seminarimonisteet, 1993.
- /59/ **Kalela P.** Henkilökohtainen tiedonanto. 1994.
- /60/ **Beazley, K.** Paper making fillers- an update. Pira reviews of pulp and paper technology. UK, London 1993.
- /61/ **Odell, M., Partanen, E., Koivuranta, M., Verkasalo, L.,** The Speed-Former revolution- experiences from newsprint and fine paper installations. Valmet Paper Machine Days 14.-15.6.1990, Jyväskylä, Finland.
- /62/ **Ilvespää, H., Mauranen, P., Odell, Partanen, E., Verkasalo, L.,** Challenges and opportunities related to pulp components and paper quality. Paperi ja Puu 74(1992)4. s.287-291.
- /63/ **Kukkonen H.** Uusien paperilaatujen valmistamisen laadullinen varmentaminen. Diplomityö, LTKK, 1993.
- /64/ **Kajanto, I.** Formaatio. Luentomonisteet 1990, Kuitu- ja Paperifysiikka. TKK
- /65/ **Sokka, T.** Painetun pinnan hankauskestävyys (rub-off) offset-painatuksessa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Enso-Gutzeitin tutkimuskeskuksen julkaisematon tutkimus. 1990.
- /66/ **Suokas, P.** Vanhempi tutkija KCL, Henkilökohtainen tiedonanto. 1995.
- /67/ **Huuskonen, J. & Eroma, E.** Paperin täyttö, teoksessa Paperin valmistus, toim. Arjas, A., julk. Suomen Paperi-Insinöörien Yhdistys, 1983. s. 271.288.
- /68/ **Laitinen, R.** Vanhempi tutkija, EG OY, henkilökohtainen tiedonanto 1995.

LIITELUETTELO

LIITE 1	Koepistematriisi (L8) ja sen mukaiset koepisteet
LIITE 2	Toteutuneet koeolosuhteet
LIITE 3	Koepisteiden tilasuuretulokset
LIITE 4	Käytetyt mittausstandardit
LIITE 5	Laboratorio- ja tehdaspainatusten mittaustulokset
LIITE 6	Laboratoriopainatustulosten korrelaatiomatriisi
LIITE 7	Tehdaspainatustulosten korrelaatiomatriisi
LIITE 8	Hystereesikäyrät
LIITE 9	Laservertailun tulokset ja korrelaatiomatriisi

L8-KOEPISTEMATRIISI JA SEN MUKAISET KOEPISTEET

L8(2⁷) KOENTEKIJÄ 1 2 3 4 5 6 7

1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Koepiste 1.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	25%
TMP:n CSF	85 ml
Hiokkeen CSF	60 ml
Kalanterien ajotapa	vk+2-tela
Listakengän imut	1/2/2 kPa
Formerin imut	5 kPa
Tuhka (kaoliini)	0%

Koepiste 2.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	25%
TMP:n CSF	85 ml
Hiokkeen CSF	60 ml
Kalanterien ajotapa	6-tela
Listakengän imut	1/6/6 kPa
Formerin imut	11 kPa
Tuhka (kaoliini)	5%

Koepiste 3.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	25%
TMP:n CSF	110 ml
Hiokkeen CSF	85 ml
Kalanterien ajotapa	vk+2-tela
Listakengän imut	1/2/2 kPa
Formerin imut	11 kPa
Tuhka (kaoliini)	5%

Koepiste 4.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	25%
TMP:n CSF	110 ml
Hiokkeen CSF	85 ml
Kalanterien ajotapa	6-tela
Listakengän imut	1/6/6 kPa
Formerin imut	5 kPa
Tuhka (kaoliini)	0%

Koepiste 5.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	45%
TMP:n CSF	85 ml
Hiokkeen CSF	85 ml
Kalanterien ajotapa	vk+2-tela
Listakengän imut	1/6/6 kPa
Formerin imut	5 kPa
Tuhka (kaoliini)	5%

Koepiste 6.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	45%
TMP:n CSF	85 ml
Hiokkeen CSF	85 ml
Kalanterien ajotapa	6-tela
Listakengän imut	1/2/2 kPa
Formerin imut	11 kPa
Tuhka (kaoliini)	0%

Koepiste 7.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	45%
TMP:n CSF	110 ml
Hiokkeen CSF	60 ml
Kalanterien ajotapa	vk+2-tela
Listakengän imut	1/6/6 kPa
Formerin imut	11 kPa
Tuhka (kaoliini)	0%

Koepiste 8.

Hallintasuure	Taso
TMP:n määrä	45%
TMP:n CSF	110 ml
Hiokkeen CSF	60 ml
Kalanterien ajotapa	6-tela
Listakengän imut	1/2/2 kPa
Formerin imut	5 kPa
Tuhka (kaoliini)	5%

TOTEUTUNEET KOELOSUHTEET

	11	12	13
Koepiste	1636	1637	1639
Konerulla	1/3 13.13	1/3 13.54	1/3 15.25
Valmistumisaika	990	990	840
Koneen nopeus (m/min)	25	25	25
TMP:n osuus (%)	10	7	10
Sellun osuus (%)	5	5	5
DIP:n osuus (%)	55	58	60
Hiokkeen osuus (%)	20	21	21
Hyllyn osuus (%)	105	105	105
TMP:n CSF (ml)	73	73	73
Hiokkeen CSF (ml)	410	420	420
Sellun CSF (ml)	0.8	0.8	0.8
Täikkelyksen annostelu (%)	5	5	0
Tuhka (%)	70	70	74
Kokonaisretentio (%)	1.5/4/5	1.5/4/5	1.5/4/5
Listakengän imut (kPa)	5	5	5
Formerin imu (kPa)	kuorma	kuorma	kuorma
Deflektorien ajotapa	18	18	18
Imulaatikoiden imut (kPa)	2.5	2.5	2.5
Perälaatikon kallistus (mm)	10.5	10.5	10.5
Huuliaukko (mm)	0.79	0.79	0.75
Perälaatikon sakeus (%)	1.039	1.039	1.039
Suihkusuuhde	2-tela	2-tela	2-tela
Kalanterien ajotapa	0.8/0.6	0.8/0.6	0.8/0.6
Välikalanterin kev/kuo (bar)	6,93	6,93	6,93
Bombeerausaine (bar)	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5
Kalanterin kev. hp/kp (bar): CC-2 tela	0.42	0.42	0.42
Kusters paine (bar)	85/85/120	85/85/120	85/85/120
Puristinosan linjapaineet (kN/m)			

KOEPISTEIDEN TILASUURETULOKSET

	Mittausen lkm	1	+/-	2	+/-	3	+/-	4	+/-	5	+/-	6	+/-	7	+/-	8	+/-	9	+/-	10	+/-
Bendtsen karheus ap [ml/min]	20	610	18	150	4	435	18	168	7	643	23	166	9	524	21	163	8	187	10	165	6
Bendtsen karheus yp [ml/min]	20	355	10	112	4	310	8	129	4	492	21	157	9	441	8	126	4	158	4	147	4
Bendtsen ilmanläpäisevyys [ml/min]	20	155	2	95	1	165	2	102	1	149	1	93	2	172	2	116	3	126	2	117	3
Öljynabsorptio ap [g/m2]	4	21,3	0,3	14,7	0,3	22,3	0,4	13,6	0,4	22,8	0,7	16,2	1,0	22,3	0,4	16,9	0,1	17,4	0,3	17,0	0,5
Öljynabsorptio yp [g/m2]	4	11,1	0,3	9,3	0,1	12,9	0,7	9,1	0,2	14,7	0,3	11,1	0,3	15,1	0,4	10,8	0,3	12,2	0,2	11,6	0,3
Vedenabsorptio ap [s]	4	89,2	4,3	160,6	13,2	99,4	4,0	97,4	3,5	119,2	8,0	98,6	10,4	78,0	5,3	94,2	9,8	65,2	9,5	72,8	8,7
Vedenabsorptio yp [s]	4	65,2	4,4	103,4	6,8	77,4	3,7	85,8	13,1	87,6	8,0	81,4	15,0	57,4	5,2	65,8	7,0	56,8	9,6	60,0	3,2
Huokostilavuus [cm3/g]	VTT	0,52		0,51		0,61		0,52		0,67		1,6		0,53		0,58		0,59		0,60	
Dominoiva huokoskoko * [um]	VTT	1,8		1,4		1,8		1,6		2,0		1,6		1,8		1,6		1,7		1,7	
Maksimijännite [V] yp	KCL	772	4	799	6	788	10	791	16	787	13	782	23	804	7	779	7	773	19	781	12
Maksimijännite [V] ap	KCL	760	18	787	5	777	19	797	7	804	7	794	18	789	17	796	11	807	13	795	15
Formaatio	4	3,1	0,1	2,8	0,1	2,5	0,0	3,0	0,0	3,2	0,2	3,2	0,1	3,3	0,3	2,7	0,1	3,1	0,1	3,1	0,2
Uuteaineitoisuus [%]	KCL	0,48		0,60		0,63		0,50		0,73		0,67		0,71		0,74		0,73		0,71	
Pintaenergian poolisuus ap	KCL	0,006		0,001		0,001		0,000		0,012		0,010		0,012		0,003		0,009		0,005	
Pintaenergian poolisuus yp	KCL	0,000		0,002		0,009		0,003		0,003		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
Kokonaispintaenergia yp [mJ/m2]	KCL	51,1		48,4		47,3		47,8		50,8		48,7		49,9		48,3		49,5		48,3	
Kokonaispintaenergia ap [mJ/m2]	KCL	47,1		47,6		49,5		46,2		46,9		47,4		47,4		47,7		47,1		47,2	
Pintalujuus ap	1	1,0		1,5		1,5		1,5		1,5		2,0		1,0		2,5		1,5		1,5	
Pintalujuus yp	1	1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0	
Venymä [%] ks	20	1,2	0,0	1,2	0,1	1,2	0,0	1,4	0,0	1,3	0,1	1,4	0,0	1,5	0,1	1,3	0,1	1,4	0,1	1,3	0,1
Repäisyindeksi ps [mNm2/g]	20	6,5	0,1	5,8	0,1	6,8	0,1	6,4	0,0	7,1	0,1	6,5	0,1	7,3	0,1	6,5	0,1	6,6	0,1	6,7	0,1
Vetoindeksi ks [Nm/g]	20	61,4	0,8	59,1	2,0	61,3	0,9	63,5	1,2	63,2	2,1	69,7	1,0	67,3	1,0	64,1	1,6	66,9	2,4	65,6	2,7
Neliomassa [g/m2]	20	58,9	0,2	60,4	0,2	60,5	0,3	61,0	0,2	61,0	0,1	60,4	0,2	60,1	0,1	59,6	0,2	60,4	0,1	60,8	0,2
Bulkki [m3/t]	20	1,95	0,01	1,54	0,01	1,86	0,01	1,57	0,01	2,01	0,01	1,59	0,01	2,02	0,01	1,60	0,01	1,65	0,01	1,62	0,01
Paksuus [um]	20	115,0	0,6	92,8	0,4	112,7	0,6	96,1	0,4	122,4	0,5	96,1	0,7	121,4	0,7	95,2	0,7	99,7	0,7	98,7	0,6
Jäykkyyks ks [pcs]	5	17,6	0,5	13,4	0,5	17,2	0,7	14,8	0,7	20,4	1,0	15,6	0,5	21,0	0,9	14,4	0,5	16,0	0,0	15,4	0,5
ISO-vaaleus [%]	10	66,2	0,0	67,6	0,0	67,6	0,0	67,8	0,0	68,3	0,0	67,9	0,0	67,0	0,0	68,3	0,0	66,9	0,0	66,6	0,0
Opasiteetti [%]	10	93,1	0,1	94,1	0,1	94,1	0,1	93,9	0,1	94,1	0,1	93,5	0,1	93,6	0,1	94,1	0,1	94,1	0,1	94,3	0,1
Valonstrotakerroin [m2/kg]	10	46,7	0,3	52,4	0,5	51,0	0,3	47,9	0,3	50,7	0,3	48,4	0,4	47,4	0,5	51,5	0,5	48,4	0,4	48,6	0,3
pH	5	4,9	0,1	5,0	0,1	5,2	0,0	5,0	0,0	4,9	0,1	4,9	0,0	4,8	0,0	4,9	0,1	4,9	0,0	5,2	0,1

Huokosrakennetta kuvaamaan on otettu huokoskoko 75% kumulatiivisen huokostilavuuden kohdalta. Tuloksia laskettaessa on käytetty 95% luottamusväliä.

KOEPISTEIDEN TILASUURETULOKSET

	Mittausten lkm	11	+/-	12	+/-	13	+/-
Bendisen karheus ap [ml/min]	20	254	6	260	8	292	9
Bendtsen karheus yp [ml/min]	20	185	6	187	6	213	8
Bendtsen ilmanläpäisevyys [ml/min]	20	140	2	138	2	127	3
Öljynabsorptio ap [g/m2]	4	14,5	0,2	14,4	0,3	14,9	0,2
Öljynabsorptio yp [g/m2]	4	10,4	0,3	10,7	0,3	11,4	0,3
Vedenabsorptio ap [s]	4	113	8	112	11	136	9
Vedenabsorptio yp [s]	4	90	2	97	8	131	20
Formaatio	4	2,7	0,2	2,5	0,1	2,9	0,1
Pintalujuus ap	1	1,0		1,0		1,0	
Pintalujuus yp	1	1,0		1,0		1,0	
Venymä [%] ks	20	1,2	0,0	1,2	0,1	1,3	0,1
Repäisyindeksi ps [mNm2/g]	20	6,0	0,1	5,9	0,1	6,2	0,1
Vetoindeksi ks [Nm/g]	20	60,0	0,9	58,9	1,5	70,7	2,3
Neliömassa [g/m2]	20	55,5	0,2	55,8	0,1	55,9	0,1
Bulkki [m3/t]	20	1,73	0,01	1,72	0,01	1,72	0,01
Paksuus [um]	20	96	1	96	1	96	0
Jäykkyyks ks [pcs]	5	17,2	1,3	16,8	0,7	18,2	0,7
ISO-vaaleus [%]	10	67,4	0,0	67,6	0,0	67,1	0,0
Opasiteetti [%]	10	93,6	0,1	93,8	0,1	93,6	0,3
Valonsirontakerroin [m2/kg]	10	52,0	0,3	52,3	0,2	50,6	0,7

Tuloksia laskettaessa on käytetty 95% luottamusväliä.

SUORITETTUIJEN MITTAUSTEN STANDARDIT

Bendtsen karheus	SCAN-P 21:67
Bendtsen ilmanläpäisevyys	SCAN-P 60:87
Öljynabsorptio	SCAN-P 37:77
Repäisyindeksi	SCAN-P 11:73
Vetoindeksi ja murtovenymä	SCAN-P 16:76
Neliömassa	SCAN-P 6:75
Paksuus	SCAN-P 7:75
Jäykkyys (Taber V-5 M150-B)	TAPPI T489
ISO-vaaleus	SCAN-P 3:75
Opasiteetti	SCAN-P 8:75
Tuhka	SCAN-P 5:63
DKM-uute	SCAN-CM 49:93
Vedenabsorptio (tehtaan oma menetelmä)	
Pintalujuus (Springer-menetelmä)	
pH (KCL:n menetelmä)	
Formaatio (Ambertec Beta Formation tester/TKK)	
Maksimijännite ja puoliintumisaika (STATEM/KCL)	
Pintaenergiat ja poolisuus (Fibro Dat /KCL)	
Pinta- ja tilavuusresistiivisyys (KCL)	
Tooneradheesio (KCL)	
Huokostilavuus ja -koko (Elohopeaporosimetri /VTT Energia)	

LABORATORIO-JA TEHDASPAINATUSTEN TULOKSET

		Mittaukset		1	+/-	2	+/-	3	+/-	4	+/-	5	+/-	6	+/-
set-off [%]	15s	3		15,3	1,9	14,6	2,2	12,5	0,3	15,8	1,9	13,1	2,1	16,1	3,3
	30s	3		13,7	1,8	13,5	1,2	11,9	0,7	14,8	2,6	12,0	1,7	13,6	3,7
	60s	3		12,0	1,7	11,1	0,6	10,0	1,4	13,6	2,2	10,2	0,6	11,7	3,7
	120s	3		9,2	1,4	8,1	0,6	7,3	1,0	10,4	1,1	7,0	0,3	9,2	1,8
rub-off [%]	4h	3		3,6	0,5	1,3	0,2	2,6	0,4	1,8	0,7	1,2	0,6	1,0	0,6
	12h	3		3,1	0,2	1,8	0,6	1,8	0,3	0,8	0,2	1,2	0,5	1,1	0,1
	24h	3		1,3	0,3	0,2	0,1	-0,4	0,1	-0,4	0,7	-0,9	0,1	-0,9	0,1
	Kuitu/väri-suhde	10		0,98		1,44		0,78		1,15		1,01		1,1	

Painopuoli
Prufbau
Polytypos

ap ap yp yp ap ap yp yp yp yp

		Mittaukset		7	+/-	8	+/-	9	+/-	10	+/-	Ecolist	+/-	Nordata	+/-
set-off [%]	15s	3		14,1	2,7	14,8	3,4	11,6	1,4	14,5	1,4	19,2	2,9	16,9	1,4
	30s	3		13,3	1,5	13,1	2,0	10,2	1,9	12,4	0,7	17,3	2,7	14,5	0,5
	60s	3		11,9	1,1	11,9	1,4	8,7	1,3	10,3	1,4	14,7	2,5	11,6	0,5
	120s	3		9,3	1,5	8,2	0,8	5,3	0,8	7,5	0,7	11,2	2,4	8,7	0,6
rub-off [%]	4h	3		5,1	0,3	1,0	0,5	6,4	0,2	6,2	0,4	0,8	0,6	1,2	0,6
	12h	3		4,6	0,1	1,3	0,3	5,7	0,1	5,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,5
	24h	3		-0,7	0,3	-0,6	0,1	0,2	0,1	-0,2	0,2	-2,6	0,1	-1,0	0,1
	Kuitu/väri-suhde	10		1,1		0,99		1,19		1,31					

Painopuoli
Prufbau
Polytypos

ap ap yp yp ap ap yp yp yp yp

TEHDASPAINATUSTULOSTEN KORRELAATIOMATRIISI

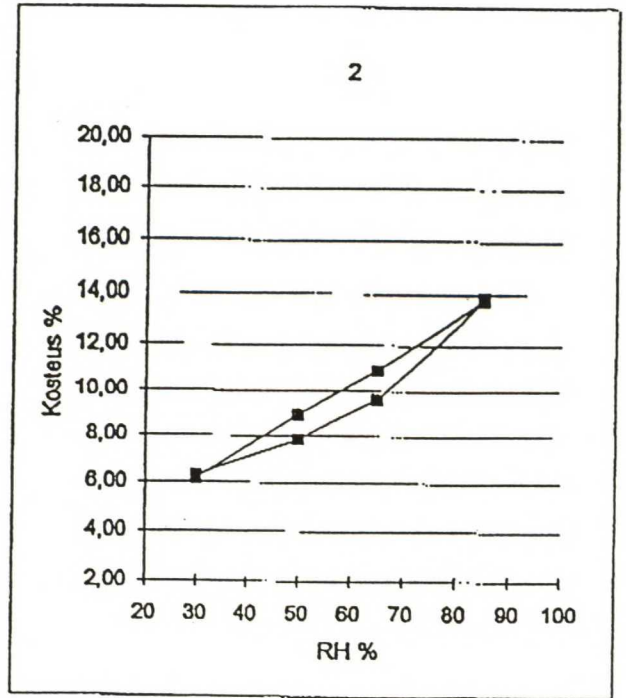
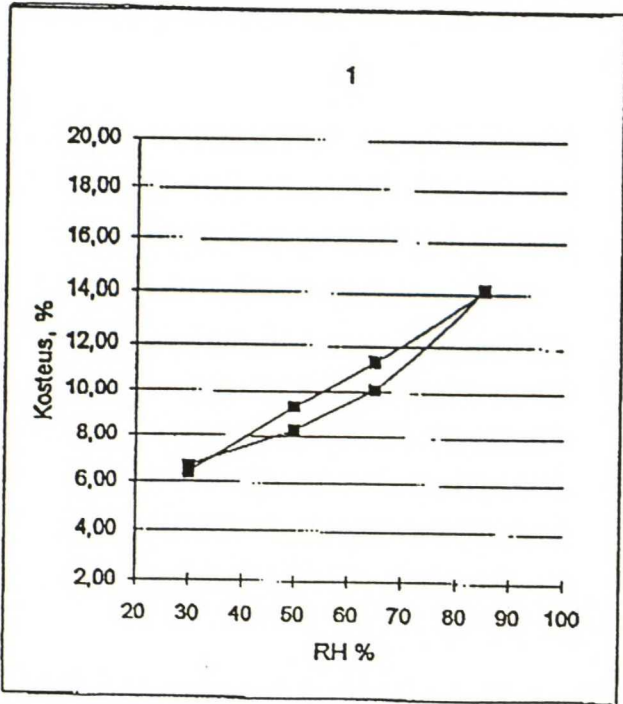
Bendtsen karheus															
Bendtsen karheus	1,00	Bendtsen ilmanlämpöisevyys													
Bendtsen ilmanlämpöisevyys	0,86	1,00	Öljynabsorptio												
Öljynabsorptio	0,26	0,29	1,00	Vedenabsorptio											
Vedenabsorptio	-0,30	-0,58	-0,37	1,00	Huokostilavuus										
Huokostilavuus	0,33	0,24	0,44	-0,09	1,00	Huokoskokohalkaisija									
Huokoskokohalkaisija	0,89	0,80	0,48	-0,41	0,63	1,00	Maksimijännite								
Maksimijännite	-0,09	-0,06	0,58	0,10	-0,11	-0,18	1,00	Formaatio							
Formaatio	0,36	0,03	0,45	-0,21	0,00	0,31	0,23	1,00	Uuteainepitoisuus						
Uuteainepitoisuus	0,07	0,07	0,44	-0,37	0,64	0,21	0,28	0,17	1,00	Pintaenergian poolisuus					
Pintaenergian poolisuus	-0,01	0,23	0,53	-0,10	0,52	0,22	0,38	-0,33	0,31	1,00	Kokonaispintaenergia				
Kokonaispintaenergia	-0,30	0,08	0,43	-0,17	0,21	-0,07	0,42	-0,47	0,19	0,88	1,00	Pintalujuus			
Pintalujuus	-0,39	-0,33	0,68	0,05	0,00	-0,14	0,53	0,20	-0,02	0,35	0,46	1,00	Bulkki		
Bulkki	0,98	0,93	0,20	-0,43	0,27	0,87	-0,16	0,27	0,03	0,01	-0,24	-0,44	1,00	ISO-vaaleus	
ISO-vaaleus	-0,09	-0,31	-0,35	0,48	0,35	-0,10	-0,14	-0,26	0,28	-0,20	-0,21	-0,33	-0,20	1,00	Opasiteetti
Opasiteetti	-0,29	-0,21	0,36	0,28	0,50	-0,13	0,48	-0,37	0,54	0,57	0,49	0,36	-0,36	0,34	1,00
Valonsirotankerroin	-0,25	-0,22	-0,39	0,46	0,32	-0,28	-0,03	-0,66	0,31	0,23	0,12	-0,35	-0,27	0,63	Valonsirotankerroin
pH	-0,18	0,05	0,23	0,20	0,26	0,02	0,07	-0,51	-0,12	0,64	0,60	0,33	-0,14	0,67	pH
Täkkelys	-0,14	-0,28	0,60	-0,19	0,30	0,15	0,15	0,57	0,31	0,04	0,10	0,61	-0,22	0,49	Täkkelys
FTIR	-0,50	-0,63	0,08	0,38	-0,38	-0,62	0,54	0,31	0,03	-0,12	-0,12	0,42	-0,56	0,27	FTIR

Tasapainokosteus ilman eri suhteellisessa kosteudessa

RH %	50 →	30 →	50 →	65 →	85 →	65 →	50 →	30
Näyte 1	8,25	6,69	8,25	10,12	14,16	11,32	9,29	6,40
Näyte 2	7,82	6,30	7,84	9,61	13,81	10,95	8,90	6,16

Näyte 1 = Summa tab 65 g/m²

Näyte 2 = Summa tab 60 g/m²



LASERVERTAILUN TULOKSET

	Summa Tab 55	Summa Tab 60	Summa Tab 65	Tamform 55	Tamform 60	Tameco 57	Ecolist 65	Nord Data 65	+/-
	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Bendisen karheus ap [ml/min]	158	4	138	163	10	18	247	172	13
Bendisen karheus yp [ml/min]	142	4	121	144	7	17	232	141	8
Bendisen ilmanläpäisevyys [ml/min]	126	1	94	97	2	3	149	148	7
Repäisyindeksi ps [mNm2/g]	6,2	0,1	5,6	6,4	0,1	0,0	6,9	7,3	0,1
Vetoindeksi ks [Nm/g]	71,8	1,1	64,8	67,3	2,1	2,0	70,3	54,3	2,9
Bulkki [m3/t]	1,63	0,01	1,53	1,61	0,02	0,01	1,81	1,57	0,01
Paksuus [um]	90,1	0,4	93,4	95,9	1,5	0,8	119,5	101,5	0,8
ISO-vaaleus [%]	67,0	0,0	65,9	74,1	0,1	0,1	70,0	71,4	0,1
Opasiteetti [%]	91,8	0,1	94,8	90,3	0,6	0,3	93,2	93,1	0,2
Öljynabsorptio ap [g/m2]	13,5		11,2	21,3			15,1	13,3	
Öljynabsorptio yp [g/m2]	9,4		9,5	15,0			17,7	16,0	
Neliömassa [g/m2]	55,3		61,1	55,7			66,2	64,8	
Täikkelys [%]	0,8		0,9	0,1			0,2	0,7	
Pintaenergian poolisuus ap	KCL 0,21		0,08	0,39			0,30	0,39	
Pintaenergian poolisuus yp	KCL 0,19		0,12	0,32			0,31	0,39	
Kokonaispintaenergia [mJ/m2] ap	KCL 52,6		45,1	71,0			59,6	68,8	
Kokonaispintaenergia [mJ/m2] yp	KCL 51,4		47,0	63,7			60,9	68,9	
Puoliintumisaika [s] ap	KCL 1,97	0,05	1,71	0,44	0,04	0,00	0,31	0,37	0,01
Puoliintumisaika [s] yp	KCL 2,13	0,03	1,81	0,47	0,04	0,00	0,33	0,40	0,01
Maksimijännite [V] ap	KCL 800	7	826	769	5	9	744	769	13
Maksimijännite [V] yp	KCL 774	9	781	763	15	12	710	763	15
Pintaresistivisyys [ohm] ap	KCL 2,5E+11	7,0E+11	3,3E+11	8,7E+10	2,4E+09	1,0E+09	1,1E+11	5,1E+10	7,1E+08
Pintaresistivisyys [ohm] yp	KCL 2,6E+11	4,2E+09	3,2E+11	8,8E+10	3,7E+09	9,1E+10	1,1E+11	5,1E+10	4,8E+08
Tilavuusresistivisyys [ohm]	KCL 6,9E+11	9,6E+09	8,1E+11	1,5E+11	1,1E+10	6,1E+09	2,0E+11	1,1E+11	2,2E+09
Tooneradheesio (KCL)	KCL 1,22		1,19	1,13		1,13	0,92	1,08	
Formaatio							3,9	4,9	0,3
Uuteainepitoisuus	KCL						0,57	0,64	
Huokostilavuus	VTT						0,68	0,55	
Huokoskokojakauma	VTT						2,0	1,5	
Jäykkyys ks							23,2	14,6	0,5
Tuhka [%]							1,1	1,2	
pH							5,8	5,2	0,1

Suoritetujen rinnakkaismääritysten lukumäärä vaihteli riippuen näyttemateriaalin saatavuudesta. Hajontaa laskettaessa on käytetty 95%:n luottamusväliä.

hukosahiker

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto